

**META-ANALYYSI VÄKIREHUTASON JA REHUN  
OMINAISUUKSIEN VAIKUTUKSISTA HEVOSEN DIEETIN  
SULAVUUTEEN**

Tiina Seppälä  
Maisterintutkielma  
Helsingin yliopisto  
Maataloustieteiden laitos  
Kotieläintiede  
Huhtikuu 2019



Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty <b>Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta</b>		Laitos/Institution– Department <b>Maataloustieteiden osasto</b>
Tekijä/Författare – Author <b>Tiina Tuulia Seppälä</b>		
Työn nimi / Arbetets titel – Title <b>Meta-analyysi väkirehutason ja rehun ominaisuuksien vaikutuksista hevosen dieetin sulavuuteen</b>		
Oppiaine / Läroämne – Subject <b>Kotieläinten ravitsemustiede</b>		
Työn laji/Arbetets art – Level <b>Maisterintutkielma</b>	Aika/Datum – Month and year <b>Huhtikuu 2019</b>	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages <b>78</b>
Tiivistelmä/Referat – Abstract <p>Hevosen ruoansulatuselimistö on sopeutunut käyttämään kuitupitoista ravintoa hyväkseen. Useimmiten dieettiin lisätään kuitenkin energiatäydennyksenä väkirehua. Tutkimuksen tavoitteena oli meta-analyysiä käyttäen tutkia dieetin väkirehun osuuden ja rehujen ominaisuuksien, erityisesti solunsisällyshiilihydraattien (myöhemmin sshh) ja tärkkelyksen, vaikutusta dieetin sulavuuteen. Mukana oli 23 tutkimusta, 50 erilaista dieettien vertailua (alakoetta) ja 113 tutkimusdieettiä, joissa väkirehun osuus vaihteli 0-80 % välillä. Aineistosta tutkittiin kokonaiskeruu- tai merkkiainemenetelmällä mitattuja kuiva-aineen, raakavalkuaisen, NDF:n ja ADF:n sulavuuksia regressioanalyyysillä käyttäen lineaarista ja toisen asteen sekamallia. Väki rehut luokiteltiin kolmeen tyyppiin: (1) kuitupitoiset, (2) kaurapohjaiset ja (3) muita viljoja sisältävät väki rehut.</p> <p>Väki rehun osuuden kasvu paransi dieetin kuiva-aineen sulavuutta, mutta positiivinen vaikutus kuiva-aineen sulavuuteen heikkeni käyräviivaisesti, kun väki rehun osuus kasvoi (<math>p=0,04</math>). Dieetin tärkkelyspitoisuuden kasvu paransi kuiva-aineen sulavuutta käyräviivaisesti (<math>p=0,04</math>). NDF:n sulavuus kuitenkin heikkeni käyräviivaisesti kun ruokintakertakohtainen tärkkelyksen saanti (g/epkg) kasvoi väki rehutyypeillä 2 (<math>p=0,02</math>) ja 3 (<math>p=0,005</math>). Sekä dieetin- (<math>p=0,01</math>) että karkearehun (<math>p=0,03</math>) sshh-pitoisuuksien kasvun todettiin heikentävän NDF:n sulavuutta käyräviivaisesti. Väki rehun NDF-pitoisuus ei vaikuttanut dieetin sulavuuteen.</p> <p>Kuiva-aineen sulavuuden paraneminen johtui oletettavasti lisääntyneestä entsyymaattisesta sulatuksesta ohutsuolessa. Havaitut muutokset kuidun sulavuudessa osoittavat kuitenkin, että osa tärkkelyksestä ja sshh:ta voi suurina pitoisuuksina syötettäessä ohittaa ohutsuolen entsyymisulatuksen ja vaikeuttaa paksusuolen mikrobifermentaation normaalia toimintaa. Tärkkelyksen lisäksi myös sshh:n kokonaispitoisuus dieetissä tulisi ottaa huomioon ruokintaa suunniteltaessa ja sshh:n vaikutusta terveeseen hevosen paksusuolen mikrobifermentaatioon tulisi tutkia lisää.</p>		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords <b>hevonen, sulavuus, väki rehu, tärkkelys ,solunsisällyshiilihydraatit, kuitu, dieetti</b>		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited <b>Maataloustieteiden osasto</b>		
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information <b>Työtä ohjasivat yliopistonlehtori Tuomo Kokkonen ja erikoistutkija Markku Saastamoinen</b>		



Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos/Institution– Department Department of Agricultural Sciences
Tekijä/Författare – Author Tiina Tuulia Seppälä		
Työn nimi / Arbetets titel – Title Meta-analysis: Effects of concentrate level and diet composition on diet digestibility in horses		
Oppiaine /Läroämne – Subject Animal Nutrition		
Työn laji/Arbetets art – Level Master thesis	Aika/Datum – Month and year April 2019	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 78
<p>Tiivistelmä/Referat – Abstract</p> <p>Equine digestive tract is adapted to diets rich in fibre. Concentrates are commonly used as energy supplements. The aim of this meta-analysis was to study the effect of concentrate level and diet composition, especially the amount of starch and non-structural carbohydrates (NSC), on diet digestibility. The data consisted of 23 studies, 50 different diet comparisons and 113 diets, in which the concentrate level varied from 0 to 80 %.</p> <p>Dry matter, crude protein, neutral detergent fibre (NDF) and acid detergent fibre (ADF) digestibilities were measured by total collection or internal markers in all of the studies. Statistical analysis was performed using regression analysis with linear and quadratic mixed models. Concentrates were divided to three classes by the main ingredient: (1) fibre-rich, (2) oat-based and (3) other cereal (barley, corn) concentrates.</p> <p>Dry matter digestibility improved when the concentrate level and the starch level rose, but the effect faded with high levels according to the quadratic model (<math>p=0,04</math> both). Increase of dietary starch level (g/bodyweight/meal) had a negative effect on fibre digestibility in both starch rich concentrate classes 2 and 3. NDF digestibility decreased curvilinearly when the level of NSC in diet (<math>p=0,01</math>) and in roughage (<math>p=0,03</math>) increased. There was no relationship between diet digestibility and concentrate NDF-level (<math>p&gt;0,25</math>).</p> <p>Improved dry matter digestibility with increasing concentrate level can be explained by increased enzymatic digestion in the small intestine. When dietary level of starch and NSC is increased, part of the undigested matter can interfere with the caecum microbial balance and decrease fibre digestion. The results imply that, in addition to starch, dietary NSC level should be taken into account when evaluating the effects of diet composition on fibre digestibility in horse, even if the horse doesn't have any metabolic problems. Further research on the effect of NSC on caecal microbial fermentation in healthy horses is warranted.</p>		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords equine, digestibility, concentrate, starch, nonstructural carbohydrates, fiber, diet		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Department of Agricultural Sciences		
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information Supervisors: University lecturer Tuomo Kokkonen and Senior Scientist Markku Saastamoinen		

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO JA KIRJALLISUUS .....	7
1.1 Hevonen on karkearehun syöjä .....	7
1.1.1 Hevosen ominaisuudet ja dieetin sulavuus .....	9
1.2 Paksu- ja umpisuolen mikrobifermentaatio .....	11
1.2.1 Mikrobiomi .....	11
1.2.2 Mikrobistoon ja sulatukseen vaikuttavat tekijät dieetissä .....	13
1.2.2.1 Syönti, ruokintataso ja viipymäaika .....	14
1.2.2.2 Tärkkelys dieetissä .....	15
1.2.2.3 Solunsisällyshiilihydraatit .....	19
1.2.2.4 Kuitu - ja rasvapitoiset väkirehut ja karkearehu .....	20
1.2.2.5 Prosessointi .....	21
2 TAVOITTEET .....	22
3 AINEISTO JA MENETELMÄT .....	22
3.1 Aineiston keruu ja kriteerit .....	22
3.2. Aineiston täydentäminen .....	23
3.3 Aineiston luokittelu .....	26
3.4 Tilastollinen käsittely .....	27
4 TULOKSET .....	28
4.1 Aineiston tunnusluvut .....	28
4.2 Väkihuprosentti .....	31
4.3. Tärkkelys .....	34
4.3.1. Dieetin ja väkirehun tärkkelyspitoisuus .....	34
4.3.2 Tärkkelyksen syönti .....	36
4.3.3 Tärkkelystaso .....	37
4.4 Solunsisällyshiilihydraatit .....	42
4.5. NDF-pitoisuus .....	47
5 TULOSTEN TARKASTELU .....	49
5.1 Väkihuprosentti .....	49
5.1.1 Väkihuprosentin ja kuiva-aineen sulavuuden välinen yhteys .....	49
5.1.2 Yhdysvaikutukset .....	51
5.2. Tärkkelys .....	55
5.2.1. Dieetin ja väkirehun tärkkelyspitoisuuden vaikutukset .....	55
5.2.2. Tärkkelyksen syönti elopainokiloa kohden .....	57

5.2.3. Tärkkelystaso ruokintakertaa kohden -----	58
5.2.4 Väkirehutyyppien erot -----	59
5.3. Solunsisällyshiilihydraatit-----	62
5.4. NDF-----	64
6 JOHTOPÄÄTÖKSET -----	67
7 KIITOKSET -----	68
LÄHTEET-----	69

## LYHENTEET JA KÄSITTEET

<b>ADF</b>	Acid detergent fibre, happodetergenttikuitu
<b>EE</b>	Ether extract, rasva
<b>epkg</b>	elopaino kilogrammoina
<b>ka</b>	kuiva-aine
<b>NDF</b>	Neutral detergent fibre, neutraalidetergenttikuitu
<b>rv</b>	raakavalkuainen
<b>ssh</b>	solunsisällyshiilihydraatit
<b>VFA</b>	Volatile fatty acid, haihtuvat rasvahapot

# 1 JOHDANTO JA KIRJALLISUUS

## 1.1 Hevonen on karkearehun syöjä

Hevonen on nurmiekosysteemin kasvinsyöjä, jonka elimistö on kehittynyt käyttämään hyväkseen suuria määriä kuitupitoisia rehuja. Hevosten dieettien riittävän energiapitoisuuden varmistamiseksi karkearehua täydennetään energiarikkailla väkirehuilla, kuten viljoilla, joiden tärkkelyspitoisuus on suuri. Energiatäydennyksenä käytetään viljojen sijaan jonkin verran myös hyvin sulavia kuituja sisältäviä väkirehuja ja rasvaa. Hevosten pitotavat, rehujen valinta ja ruokinnan käytännön toteutus vaikuttavat merkittävästi ravintoaineiden hyväksikäyttöön, ruoansulatuselimistön terveyteen ja hevosen hyvinvointiin (Hill 2007). Toisaalta väkirehujen syötön on todettu pienentävän hevosen metaanipäästöjä (Dansen ym. 2015), mikä voi tulla merkitykselliseksi tulevaisuudessa ympäristötietoisuuden kasvaessa myös hevostaloudessa.

Hevosen elimistö on sopeutunut käyttämään kuitupitoista ravintoa hyväkseen. Mahalaukku on pieni ja ruokasula kulkee sieltä nopeasti eteenpäin. Rehun viipymisaika mahassa on vain 2-6 h (de Fombelle ym. 2003). Varsinaista sulatusta ei mahalaukussa tapahdu, mutta mahalaukun yläosassa, saccus caecus-alueella on anaerobisia mikrobeja, jotka voivat fermentoimalla sulattaa esimerkiksi tärkkelystä, tuottaa maitohappoa ja sitä kautta energiaa hevosen käyttöön (Frape 2010). Fermentaatiota tapahtuu erityisen paljon silloin kun väkirehuannokset ovat suuria. Mahalaukun suuri kuiva-ainesisältö puskuroi pH:n laskua vastaan ja estää mahalaukun omien entsyymien toiminnan (Frape 2010). Toisaalta fermentaation tuloksena syntyvä maitohappo voi laskea pH:ta tärkkelyspitoisilla väkirehuilla ja aiheuttaa muita terveysongelmia hevoselle (de Fombelle ym. 2003). Myös rehun pureskelun yhteydessä erittyvällä syljellä on mahalaukun pH:n laskua puskuroiva vaikutus.

Ohutsuolessa haiman ja suolen seinämän entsyymit pilkkovat rehun sisältämiä solunsisällyksaineita. Ohutsuolessa ruokasulan kulku on hyvin nopeaa, noin 30 cm/min, mutta solunsisällyksaineiden sulatus on hyvin tehokasta (van Weyenberg ym. 2006). Ohutsuolisulavuutta tutkittaessa on todettu, että mahalaukusta tulevista solunsisällyshiilihydraateista sulaa ohutsuolessa 100 %, rasvasta 90-95 %, tärkkelyksestä 85 % ja soluseinämähiilihydraateista vain 5-15 % (Santos ym. 2011). Suurin osa soluseinämähiilihydraateista ja merkittäviä määriä tärkkelystä ja soluseinämään kiinnittynyttä valkuaista jatkaa matkaa ohutsuolen entsyymaattisen sulatuksen ohi. Ohutsuolisulatuksen ohittavien ravintoaineiden osuuksiin vaikuttavat mm. ravintoaineiden lähde, rehun prosessointi, dieetin muu koostumus, ruokintataso sekä eläimen oma aineenvaihdunnan tila (Santos ym. 2011).

Ruokasula jatkaa ohutsuolisulatuksen jälkeen umpisuoleen (pituus n. 1 m) ja paksusuoleen (4-5 m) (Frape 2010). Ruoansulatuskanavan loppupäässä ei ole elimistön omaa entsyymaattista aktiivisuutta, vaan sulatus perustuu mikrobeihin, jotka sulattavat erityisesti soluseinämäainesta. Normaalitilanteessa tämä mikrobipopulaatio toimii tasapainossa isäntäeläimen kanssa, pitää huolta suoliston ekosysteemistä ja muodostaa suojan patogeeneja vastaan (Julliand 1992).

Varsan ruoansulatuselimistö kehittyy vähitellen kuitupitoisen rehun sulatukseen. Vastasyntyneen varsan maksa on suuri energiavarasto ja ohutsuoli kasvaa täyteen pituuteensa jo eläimen ensimmäisen elinkuukauden aikana. Vieroituksen aikaan (varsa 5-8 kk ikäinen) paksusuoli kasvaa selvästi muuta ruoansulatuskanavaa nopeammin ja valmistautuu karkeamman rehun sulattamiseen. Umpi- ja paksusuolen pinta-ala voi kasvaa vielä hevosen 20 ikävuoteen asti, mikä korostaa hevosen karkearehun käyttökykyä ja -tarvetta (Frape 2010).



### 1.1.1 Hevosen ominaisuudet ja dieetin sulavuus

Märehtijöillä on havaittu kuidun sulavuuden parantuvan eläimen koon kasvaessa, mutta hevosilla yksilöiden väliset erot ovat suuria (Uden ja Van Soest 1982). Uden ja Van Soest (1982) havaitsivat, että soluseinämaa-aineksen sulavuus oli pienempi suurimmalla hevosella (0,297) verrattuna pienimpään poniin, jonka vastaava arvo oli tutkimuksen korkein (0,437). Uden ja Van Soest (1982) eivät kuitenkaan havainneet tutkimuksessaan tilastollisesti merkitsevää yhteyttä eläimen painon ja kuidun sulavuuden välillä, mutta ponien ruokintataso ja mitatut kuiva-aineen ja kuidun sulavuudet olivat numeroarvoltaan suuremmat kuin hevosten. Painon lisäksi myös rotutyypin ero voi selittää osan vaihtelusta kyseisessä tutkimuksessa.

Rodun vaikutusta rehun sulavuuteen on tutkittu jo pitkään. Martin-Rosset ym. (1990) havaitsivat orgaanisen aineen sulavuuden olevan kevyillä roduilla (lämminverisillä) hieman heikompi kuin raskailla (kylmäverisillä) roduilla, mutta rodun vaikutus oli tilastollisesti vain suuntaa antava. Kevyillä roduilla ruokasulan viipymääjan on todettu olevan lyhyempi verrattuna raskaisiin rotuihin, mikä voi vaikuttaa sulavuuteen (Miraglia ym. 1992). Pelkällä karkearehuruokinnalla rodun vaikutusta dieetin sulavuuteen ei ole havaittu vertailtaessa kylmä- ja lämminverisiä rotuja keskenään (Martin-Rosset ym. 1990, Ragnarsson ja Jansson 2011). Toisaalta ponirotuja vertaillessaan Pearson ym. (1992) havaitsivat shetlanninponien dieetin kuiva-aineen, orgaanisen aineen ja raakavalkuaisen sulavuuksien olevan pienempiä kuin kevyempirakenteisten Highland-ponien. Shetlanninponeilla dieetin sulavuus oli Pearsonin ym. (1992) tutkimuksessa myös täysverisiä hevosia heikompi. Toisaalta taas Slade ja Hintz (1969) havaitsivat tutkittujen sulavuusarvojen, kuten orgaanisen aineen sulavuuden, olevan korkeampia poneilla verrattuna hevosiin.

Pearson ym. (1992) totesivat kuitupitoisuuksiltaan erilaisten dieettien ja rodun välillä yhdysvaikutuksen. Shetlanninponeilla kuidun sulavuus oli heikompi kuin täysverisillä käytettäessä karkearehuana sinimailasta ja olkea, mutta dieetin sisältäessä 100 % olkea, shetlanninponien kuidun sulatuskyky oli parempi kuin tutkimuksessa käytettyjen hevosten (Pearson ym. 1992). Jensenin ym. (2010) tutkimuksessa kylmäverisiin kuuluvan islanninhevosen kuidun (raakakuitu, ravintokuitu) ja tärkkelyksen sulatus oli puoliverisiä parempaa, minkä tutkijat olettivat johtuvan islanninhevosten paremmasta dieetin pureskelusta. Myös viipymääjan oletettiin olevan pidempi suuren paksusuolen omaavilla islanninhevosilla, mikä selittäisi erityisesti kuidun parempaa sulavuutta (Jensen ym. 2010).

Luonnostaan korkeaan kuitupitoisuuteen tottuneilla islanninhevosilla on havaittu myös rakenteellisia eroja paksusuolen pituudessa ja tilavuudessa verrattuna muihin rotuihin. Sverrisdóttirin ym. (1994) tutkimuksessa islanninhevosen mahalaukku oli vain 2 % koko ruoansulatuskanavasta, kun vastaava osuus oli kirjallisuusvertailussa muilla roduilla keskimäärin 9 %. Paksusuolen osuus islanninhevosten ruoansulatuskanavasta oli 71,5 % (tilavuudesta) ja 31 % (pituudesta), kun vastaavat luvut muilla roduilla olivat 61 % ja 26 % (Sverrisdóttir ym. 1994).

Hevosen liikunnan määrä voi lyhentää ruokasulan viipymääikää ja vähentää verenkiertoa ruoansulatuselimistössä ja siten heikentää kuiva-aineen sulavuutta mikrobien vaikutusajan lyhentyessä (Pagan ym. 1998). Schaafstra ym. (2018) havaitsivat, että raskaampi harjoittelu heikensi kuiva-aineen, orgaanisen aineen, NDF:n ja ADF:n sulavuuksia suuntaa antavasti. Harjoittelun raskaudella ei todettu olevan vaikutusta raakavalkuaisen, raakarasvan, tärkkelyksen ja sokereiden sulavuuksiin (Schaafstra ym. 2018).

## 1.2 Paksu- ja umpisuolen mikrobifermentaatio

### 1.2.1 Mikrobiomi

Hevosien paksu- ja umpisuolen mikrobifermentaatiota on tutkittu viime vuosina paljon. Jo vastasyntyneellä varsalla voidaan todeta rikas mikrobisto umpi- ja paksusuoleissa, mutta nämä lajit ovat todennäköisesti peräisin emätammalta ja välittömästi ympäristöstä ja niiden määrä laskeekin nopeasti ensimmäisen päivän jälkeen. Lasku tekee tilaa varsan omille mikrobeille, joita alkaa kehittyä jo toisena elinpäivänä. (Costa ym. 2016)

Samankaltainen vaikutus on todettu myös vauvoilla, vasikoilla ja koiran pennuilla. Alipour ym. (2018) totesivat tutkimuksessaan vasikoiden mikrobiston koostuvan monista lajeista välittömästi syntymän jälkeen, mutta jo vuorokauden ikäisellä vasikalla mikrobisto oli muuttunut ja vastasi eniten emon suun mikrobistoa. Seitsemän päivän ikäisenä vasikan mikrobisto oli jälleen muuttunut merkitsevästi, ja lajiston perusteella Alipour ym. (2018) totesivat vasikan peräsuolesta otetun näytteen vastaavan aikuisen sonnasta otettua näytettä mikrobiskoostumukseltaan.

Mikrobisto rikastuu, kun varsa altistuu ympäristön mikrobeille ja alkaa maistella karkearehua. Tässä kehityksessä ensimmäinen elinkuukausi on erityisen tärkeä. Mikrobiston on todettu olevan stabiili jo 60 vuorokauden ikäisellä varsalla ja mikrobien lajirakenteen vastaavan aikuisen hevosen mikrobistoa. (Costa ym. 2016)

Paksu- ja umpisuolen mikrobeita voidaan luokitella niiden toiminnan mukaan glykolyyttisiin, tärkkelystä käyttäviin, maitohappoa käyttäviin, sellulolyyttisiin, hemisellulolyyttisiin, pektinolyyttisiin ja proteolyyttisiin mikrobeihin (Julliand ja Grimm 2016). Kuitua sulattavia mikrobilajeja kutsutaan myös kokonaisuutena

fibrolyytisiksi (Julliand ja Grimm 2017). Kuitua hajottavat sellulolyttiset mikrobit ovat enimmäkseen pötsissäkin esiintyvien ruminococcus-sukujen edustajia, jotka ovat sopeutuneet paksusuolen olosuhteisiin (Julliand ym. 1998). Mikrobisulatukseen tuleva aines on hyvin kuitupitoista johtuen edeltävästä ohutsuolen entsyymisulatuksesta ja kuitua sulattavat mikrobit ovatkin hevosen paksusuolella enemmistössä (Santos 2011). Kuitua hajottavien mikrobien määrä on runsaimmillaan umpisuolella ja vähenee paksusuolen loppua kohden, kun taas solunsisällyshiilihydraatteja käyttäviä mikrobeja havaitaan enemmän paksusuolen loppupäässä (de Fombelle 2003). Umpisuoli ja paksusuolen eri osat toimivatkin omina ekosysteemeinään ja niiden mikrobistoissa on eroja, myös yksilöiden välillä (Julliand ja Grimm 2017). Tämä saattaa osaltaan selittää eroja sulatuksessa yksilöiden välillä.

Hevosen ruoansulatuselimistö on altis rehujen ja ruokinnan muutoksille, sillä paksu- ja umpisuolen mikrobiston lajisto on kapea (Dougal ym. 2014) ja myös hevosten välillä on suuria eroja mikrobiston stabiiliudessa (Willing ym. 2009). Mikrobiston perustan tärkeys on todettu muilla eläinlajeilla ja siihen liittyy oleellisesti eläimen terveys ja sairauksien ehkäisy. Kaikille hevosille yhteisen mikrobiston osuus on noin 5-15% ja tähän perustaan kuuluvat myös mainitut sellulolyttisiksi laskettavat Ruminococcus-bakteerit (Julliand ja Grimm 2017).

Dieettien erilaiset vaikutukset ovat nähtävissä hevosen mikrobiomissa (Willing ym. 2009, Dougal ym. 2014). Nopeasti fermentoituvien hiilihydraattien pitoisuuden lisääntyminen paksu- ja umpisuolella lisää gram-positiivisten, maitohappoa tuottavien bakteerien määrää ja ohjaa myös useita substraatteja käyttävät mikrobit sakkarolyttiseen käymiseen fibrolyttisen sijaan (Daly ym. 2012). Väkirehujen tärkkelys vaikuttaa paksusuolen mikrobistoon karkearehun NDF:ää tehokkaammin, sillä se on nopeammin mikrobien fermentoitavissa (Kristoffersen ym. 2016). Maitohapon kertyminen ei lisää maitohappoa hyväksikäyttävien mikrobien määrää, vaan johtaa suolen pH:n laskuun ja sitä

kautta kuitua sulattavien fibrolyyttisten mikrobien toiminnan heikentymiseen (Daly ym. 2012). Dieetti ei siis vaikuta vain suolistomikrobiston koostumukseen, mutta myös mikrobien väliseen vuorovaikutukseen ja substraattien käyttöön (Kristoffersen ym. 2016).

Väkirehun poistaminen ruokinnasta lisää mikrobipopulaation stabiilisuutta (Willing ym. 2009). Umpisuoli ei ole yhtä herkkä väkirehun vaikutuksille kuin paksusuoli, sillä pienet partikkelit virtaavat nopeasti umpisuolesta paksusuoleen (de Fombelle ym. 2001, Santos 2011). Umpisuoleessa on myös vähemmän tärkkelystä hajottavia mikrobeja kuin paksusuoleessa (de Fombelle ym. 2003).

#### 1.2.2 Mikrobistoon ja sulatukseen vaikuttavat tekijät dieetissä

Yleisesti paksu- ja umpisuolen mikrobikasvu ja kuidun sulatus ovat riippuvaisia sinne tulevasta energiasta ja valkuaisesta (Santos 2011). Ohutsuolesta tulevaa sulamatonta ainesta, joka sisältää soluseinämäaineksen lisäksi dieetistä riippuen mm. tärkkelystä, hydrolysoidaan ensin sokereiksi mikrobien toimesta, ja fermentoidaan edelleen energiaksi (Julliand ja Grimm 2017). Mikrobifermentaation lopputuotteena syntyy haihtuvia rasvahappoja, jotka tuottavat noin 60-70% hevosen kokonaisenergiasta (Vermorel ja Martin-Rosset 1997). Kuitua hajottavien fibrolyyttisten mikrobien aktiivisuus lisää etikka- ja voihapon osuutta haihtuvista rasvahapoista, kun taas tärkkelyksen aktivoimat amylolyyttiset mikrobit lisäävät propionihapon tuotantoa (Julliand ja Grimm 2017). Haihtuvien rasvahappojen lisäksi umpi- ja paksusuolen fermentaatiossa syntyy mikrobivalkuaista, metaania ja käymislämpöä (Santos 2011).

Paksusuoleessa syntyvän mikrobivalkuaisen merkitys hevoselle on vähäinen, sillä sen imeytyminen on heikkoa. On arvioitu, että hevosella paksusuolen tehokkaan toiminnan kannalta tärkeää on nimenomaan mikrobien tehokas

toiminta (vaatii energiaa), ei niinkään mikrobikasvun lisääminen (vaatii valkuaista) (Santos ym. 2011).

#### 1.2.2.1 Syönti, ruokintataso ja viipymäaika

Mitä nopeammin ruokasula kulkee mahan ja ohutsuolen läpi, sitä vähemmän sulatusta ehtii ennen mikrobifermentaatiota tapahtua (Santos ym. 2011). Mikrobifermentaation onnistumiseen vaikuttavat ruokasulan keskimääräinen viipymäaika suolistossa, erityisesti paksu- ja umpisuolessa (hevosella 21-40 h) ja paksusuolen olosuhteet (Frape 2010). Ruokasulan viipymäaika paksusuolessa vaikuttaa mikrobiaktiivisuuteen, veden imeytymiseen ja myös sulavuuteen (Santos ym. 2011). Viipymäaikaan vaikuttaa eläimen fysiologinen tila sekä vähäisessä määrin myös liikunta (Miraglia ym. 1992, Pagan ym. 1998). Väkirehu dieetissä voi nopeuttaa ruokasulan kulkua (Holland ym. 1998), mutta erot eivät ole selkeitä (Austbo ja Volden 2006). Drogoul ym. (2001) havaitsivat, että pienten partikkeleiden ja nestefaasin viipymäajoissa oli eroja, mikä viittaa ruokasulan valikoivaan etenemiseen paksusuolessa.

Suuret annokset, pitkät ruokintavälit ja nopeat muutokset ruokinnassa heikentävät yleisesti sulatusta mikrobien tasapainon muuttuessa (Frape 2010). Clauss ym. (2014) tutkivat ruokintatason vaikutusta sulavuuteen ja totesivat, että viipymäaika lyhenee kun ruokintataso kasvaa. Vastoin oletuksia kuiva-aineen, ravintoaineiden ja kuidun sulatus heikkeni ruokintatason laskiessa hyvin matalaksi ( $30\text{g/kg}^{0,75}/\text{pv}$ ). Viipymäaika ei siten ole ainoa tekijä, joka selittää ruokintatason vaikutusta sulavuuteen. Jensen ym. (2010) oletivat dieetin kuitupitoisuuden lyhentävän viipymäaikaa verrattuna tärkkelyspitoiseen dieettiin, mutta ruokasuolan kulkunopeus voi vaihdella ruoansulatuskanavan eri osissa. Suurempi kuiva-aineen syönti ei automaattisesti pienennä sulavuutta, vaan sulavuuteen vaikuttavat myös karkearehujen ominaisuudet (Clauss ym. 2014). Pearson ym. (2006) totesivat suuntaa antavana tuloksena, että poneilla

kuidun (ADF) sulavuus oli parempi rajoitetulla ruokinnalla verrattuna ad libitum-ruokintaan. Toisaalta Martin-Rosset ym. (1990) totesivat, että pelkällä karkearehuruokinnalla ruokintataso ei vaikuttanut dieetin kokonaissulavuuteen.

Merkittävä tekijä on myös ohutsuolessa sulamaton solunsisällysaines, kuten tärkkelys, joka voi paksusuoleen kulkeutuessaan aiheuttaa fermentaatiomuutoksia (Frape 2010). Freire ym. (2009) totesivat, että viljan osuus ruokinnassa vaikutti myös hevosen syöntinopeuteen ja sitä kautta viipymäaikaan. Hevoset söivät nopeammin 35 % viljaa sisältävän annoksen verrattuna 50 % viljaa sisältävään ruokintaan. Hevoset myös joivat vähemmän suuremmalla vilja-annoksella ja ruokasulan kulkunopeus hidastui. Freire ym. (2009) olettivat, että tällä tavoin hevoset pyrkivät hidastamaan tärkkelyksen kulkua ja sulamattoman tärkkelyksen joutumista paksusuoleen.

Ruokintakertojen määrä ja annosten koko vaikuttavat suoliston mikrobikantaan. Ruokintakerroilla ei ole todettu vaikutusta mikrobiston lajien rikkauteen paksusuoleessa, mutta esimerkiksi streptokokkien määrä on stabiilimpi kun ruokintakertoja on useita. Mikäli tärkkelystä annetaan paljon kerralla, suuret annokset voivat johtaa streptokokkien määrän nousuun ja aiheuttaa muutoksia suolistossa. (Venable ym. 2017)

#### 1.2.2.2 Tärkkelys dieetissä

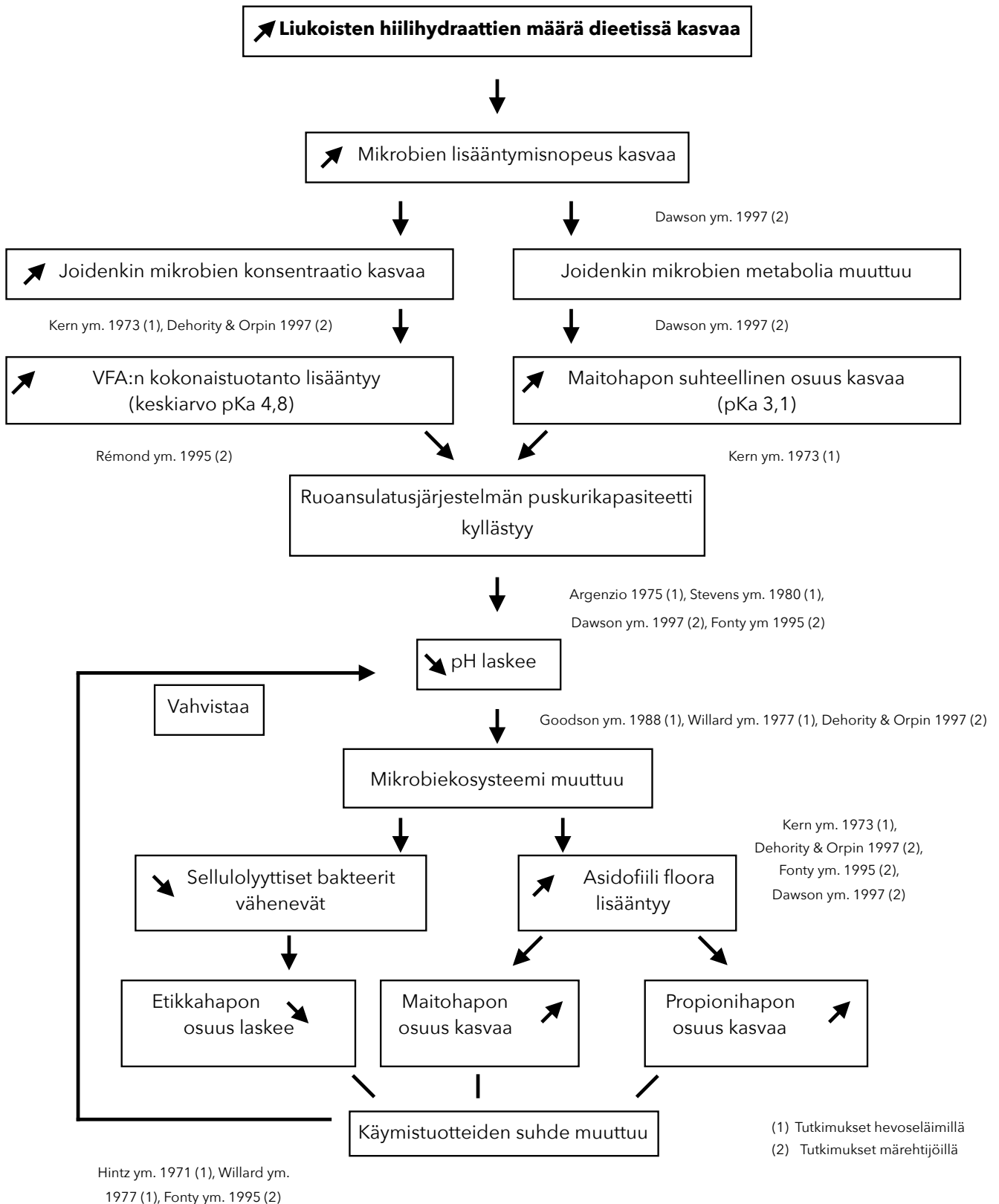
Tärkkelyspitoiset väkirehut ovat yleisesti käytössä niiden suuren energiasisällön vuoksi. Tärkkelyksen sulavuus on hevosella hyvä, jopa 91-96 % (Rosenfeld ja Austbo ym. 2009), mutta tärkkelyksen lähde ja rakenne, kokonaismäärä ja rehujen prosessointi vaikuttavat sen sulavuuteen (Frape 2010). Tärkkelyksen sulatus alkaa jo mahalaukussa, jossa osa siitä fermentoituu mikrobien toimesta. Jopa 40 % tärkkelyksestä ja sokereista voi altistua fermentaatiolle mahalaukussa (Varlourd ym. 2004). Suurin osa tärkkelyksestä sulatetaan ohutsuolessa

entsyymaattisesti. Hevosen haiman amylaasin aktiivisuus on märehitijöiden kanssa samalla tasolla, ja selvästi vähäisempää kuin muilla yksimahaisilla. Myös tärkkelysten lähde vaikuttaa amylaasin aktiivisuuteen (Kienzle ym. 1994).

Kauran tärkkelysten ohutsuolisulavuus on tärkkelyspitoisista rehuista paras, 94,9-99,7 %, kun se on vastaavasti ohralla 70,5-86,9 % ja maissilla 66,2-88,0 % (de Fombelle ym. 2001, de Fombelle ym. 2004, Rosenfeld ja Austbo 2009). Tärkkelysten ohutsuolisulavuuksissa on paljon vaihtelua tutkimusten ja prosessointien välillä, sillä kokonaisena syötetylle ohralle ja maissille on mitattu vain 22 ja 29 % ohutsuolisulavuuksia (Kienzle ym. 1997). Tärkkelyspitoisten rehujen syöttäminen vaikuttaakin potentiaalisesti muiden rehujen sulatukseen. Jos dieetti sisältää paljon tärkkelystä (Varloud ym. 2004) tai tärkkelysten ohutsuolisulavuus on heikkoa (Kienzle ym. 1997), sitä kulkeutuu sulamattomana paksusuoleen. Sulamaton tärkkelys fermentoituu paksusuoleessa vaikuttaen mikrobien toimintaan (Varloud ym. 2004). Brokner ym. (2012) totesivat, että jo yksittäinen annos käsittelemätöntä ohraa voi laskea paksusuolen pH:ta sellaiselle tasolle, että koko dieetin kuidun sulavuus heikkenee.

Potter ym. (1992) esittivät, että tärkkelysannos/ruokintakerta tulisi rajata 0,4 %:iin elopainosta, mikä tarkoittaisi 500 kiloilla hevosella 4 g tärkkelystä/epkg/ruokintakerta. Uudemmassa tutkimuksessa taas Luthersson ym. (2009) havaitsivat, että mahahaavariskin kannalta rajat tärkkelysten määrälle olisivat 1 g/epkg/ruokintakerta ja 2 g/epkg/pv ja samaan tasoon (1,1 g/epkg/ruokintakerta) päätyivät Coenen ym. (2011). Harlow ym. (2016) esittivät tärkkelysannoksen turvallisesti kooksi alle 2 g tärkkelystä/epkg/ruokintakerta. Harlow ym. (2016) kiinnittivät tutkimuksessaan huomiota myös siihen, miten tärkkelysten lähde vaikuttaa turvalliseen annoskoko. Matalalla saantitasolla (1 g tärkkelystä/epkg/ruokintakerta) amylolyyttisten mikrobien määrä nousi maissilla ja vehnällä, mutta samaa vaikutusta ei havaittu, kun tärkkelysten lähteenä dieetissä oli kaura, mikä viittaa siihen, ettei sulamatonta kauran





Kuva 1. Tärkkelyksen vaikutusmekanismit hevosen paksusuolessa (Dawson ym. 1997, ref. de Fombelle 2001)

tärkkelystä merkittävästi päätynyt paksusuoleen ohutsuolisulatuksen jälkeen. Suurempi annoskoko (2 g tärkkelystä/epkg/ruokintakerta) lisäsi amylolyyttisten mikrobien määrää suolistossa kaikilla tutkituilla viljoilla, mutta maissin osalta lisäys oli selvästi suurempi kuin kauralla (Harlow ym. 2016).

Runsaasti tärkkelystä sisältävä väkirehuruokinta tukee maitohappoa tuottavien mikrobien toimintaa ja laskee paksusuolen pH:ta (Goodson ym. 1988, de Fombelle ym. 2003, Julliand ja Grimm 2017), mutta mikäli tärkkelys sulaa hyvin ohutsuolessa, vaikutusta ei havaita (de Fombelle ym. 2001). Tärkkelyksen ja muiden liukoisten hiilihydraattien vaikutusmekanismeja paksusuolella on tutkittu sekä märehitijöillä että hevosilla (kuva 1), ja vaikutusten on todettu olevan samankaltaisia (Dawson ym. 1997). Liukoisten hiilihydraattien on todettu sekä lisäävän joidenkin (maitohappoa tuottavien) mikrobien konsentraatiota, että suuntaavan mikrobien metaboliaa käyttämään niitä substraatteja, joita on paljon tarjolla (liukoisia hiilihydraatteja). Nämä muutokset aiheuttavat suoliston puskurijärjestelmän kyllästymisen ja pH:n laskun, mikä tukee edelleen asidofiilin flooran toimintaedellytyksiä sellulolyyttisten mikrobien toiminnan vaikeutuessa. Maitohapon ja propionihapon osuus käymistuotteista kasvaa, mikä entisestään vahvistaa pH:n laskua ja mikrobiekosysteemin muutosta.

Tärkkelyksen negatiivisia vaikutuksia suoliston mikrobeihin voidaan vähentää huolehtimalla riittävästä kuidun osuudesta dieetissä. Kuitupitoinen ruokinta lisää sellulolyyttisten bakteerien määrää ja siten potentiaalisesti parantaa kuidun sulatusta (de Fombelle ym. 2003). Toisaalta on todettu, ettei tärkkelystä sisältävän väkirehun lisääminen välttämättä vähennä näiden mikrobien määrää (de Fombelle ym. 2001). Kuitua hajottavien mikrobien aktiivisuus vaihtelee, eli lukumäärä ei ole ainoa sulavuuteen vaikuttava tekijä, vaan karkearehun laatu voi vaikuttaa myös mikrobien aktiivisuuteen (de Fombelle ym. 2003). Karkearehun korvaaminen väkirehulla voi laskea pH:ta ja lisätä maitohappoa tuottavien mikrobien määrää paksusuolella (Santos 2011). Suuri karkearehupitoisuus taas

hidastaa ruokasulan kulkua paksusuoleen, mikä voi parantaa tärkkelyksen sulavuutta ohutsuolessa (Hill 2007). Määrän lisäksi myös karkearehun laatu vaikuttaa, hyvin sulava karkearehu tarjoaa mikrobeille energiaa ja heikentää paksusuoleessa fermentoituvan tärkkelyksen vaikutusta mikrobistoon (de Fombelle ym. 2003).

#### 1.2.2.3 Solunsisällyshiilihydraatit

Solunsisällyshiilihydraattien pitoisuus määritetään yleensä laskennallisesti muiden rehun analysoitujen pitoisuuksien perusteella. Solunsisällyshiilihydraatteihin kuuluvat mono- ja disakkaridien lisäksi monimutkaisemmat varastohiilihydraatit kuten fruktaanit ja tärkkelys (Shepherd ym. 2012). Karkearehujen tärkkelyspitoisuus on yleensä hyvin pieni, jopa 0 g/kg ka (LUKE 2018), mutta fruktaanipitoisuus voi olla suuri, ja vaihdella mm. rehun kasvuolosuhteiden mukaan (Shepherd ym. 2012). Fruktaanit kuuluvat karkearehun liukoisiin, ei rakenteellisiin kuituihin (Shepherd ym. 2012) ja niiden ohutsuolisulavuus on hyvin heikko (Harris 2005). Umpi- ja paksusuoleessa fruktaanien fermentoituminen on nopeaa ja niiden suuri määrä voi aiheuttaa ongelmia mikrobifermentaatiolle tärkkelyksen tavoin (Harris 2005, Geor 2009). Longland ja Byrd (2006) totesivat fruktaanien runsaan määrän johtavan amylolyyttisen ja sakkarolyyttisen bakteerifermentaation lisääntymiseen paksusuoleessa. Bakteerien tuottama maitohappo laskee suoliston pH:ta, mikä voi johtaa myös sairauksiin, kuten kaviokuumeeseen suolen seinämän muutosten ja kavion verenkierron heikkenemisen myötä (Longland ja Byrd 2006). Erityisen herkkiä fruktaanien suolistovaikutuksille ovat metabolisista ongelmista kärsivät hevoset, joiden osalta suositellaan karkearehun sshh-pitoisuudeksi enimmillään 100 g/kg ka (Frank 2009).

#### 1.2.2.4 Kuitu - ja rasvapitoiset väkirehut ja karkearehu

Kuitupitoisia väkirehuja käytetään dieetissä korvaamaan tärkkelyspitoisia rehuja paksusuolen mikrobistomuutosten välttämiseksi. Lindberg ja Karlsson (2001) totesivat kauran korvaamisen melassileikkeellä parantavan kuidun sulavuutta, mutta heikentävän raakavalkuaisen sulavuutta. Tutkijat kuitenkin totesivat, että raakavalkuaisen sulavuuden muutosta voi selittää myös lisääntynyt mikrobivalkuaisen tuotanto paksusuolessa, mikä lisää sonnan valkuaispitoisuutta ja pienentää näennäistä sulavuutta. Murray ym. (2008) totesivat kahdessa tutkimuksessaan melassileikkeen parantaneen karkearehun soluseinämäaineksen sulavuutta, kun karkearehua korvattiin melassileikkeellä eikä muita väkirehuja ollut dieetissä.

Rasva ei kuulu luonnostaan suurina määrinä hevosen ruokavalioon. Sales ym. (2011) totesivat meta-analyysissään, että rasvapitoinen väkirehu ei vaikuttanut dieetin NDF:n tai raakavalkuaisen sulavuuteen, mutta ADF:n sulavuutta se heikensi. Myös Lindberg ja Karlsson (2001) totesivat, ettei rasvalisäys heikentänyt NDF:n ja raakavalkuaisen sulavuutta.

Karkearehun laatu vaikuttaa monin tavoin dieetin kokonaissulavuuteen. Hyvin sulava karkearehu tarjoaa mikrobeille energiaa ja vähentää paksuolessa fermentoituvan tärkkelyksen vaikutusta mikrobistoon (de Fombelle ym. 2003). Karkearehun kuiva-aineen sulavuus pienenee NDF-pitoisuuden kasvaessa, kun taas raakavalkuaisen pitoisuuden kasvu parantaa kokonaissulavuutta (Hansen ym. 2017). Toisaalta NDF-pitoisuuden kasvu voi parantaa NDF:n sulavuutta (Pearson ym. 2006). Väkirehun ja karkearehun yhdysvaikutukset vaikeuttavat dieetin kokonaissulavuuden ennustamista.

#### 1.2.2.5 Prosessointi

Väkirehujen prosessoinnilla voidaan vaikuttaa eri ravintoaineiden, erityisesti tärkkelyksen sulavuuteen (Kienzle ym. 1997, Hill 2007, Rosenfeld ja Austbo 2009). Väkirehun huolellinen pureskelu esimerkiksi kuitupitoisen rehun yhteydessä syötettynä tai teollisesti tehty murskaus lisää entsyymeille ja mikrobeille altistuvaa pinta-alaa rehussa (Hill 2007). Tästä syystä viljoja usein vähintään mekaanisesti käsitellään ennen syöttöä, jotta kuori hajoaisi ja tärkkelyksen ohutsuolisulavuus paranisi (Kienzle ym. 2002). Pyles ym. (2019) havaitsivat, että vaikka käsittelemättömien viljojen tärkkelyksen ohutsuolisulavuudessa oli selkeitä eroja, jauhetulla ja pelletöidyllä kauralla ja maissilla ei ollut eroa paksusuolen mikrobistoa tutkittaessa. Tämä viittaa siihen, että näiden prosessoitujen viljojen ohutsuolisulavuudet olivat lähellä toisiaan. Lämpökäsittely voi lisätä tärkkelyksen sulavuutta verrattuna mekaanisesti käsiteltyyn tai käsittelemättömään viljaan (Rosenfeld ja Austbo 2009). Ongelmana tärkkelyksen sulavuutta lisäävissä prosessoinneissa on se, että gelatisoitunut tärkkelys altistuu helpommin mikrobifermentaatiolle jo mahalaukussa, mikä heikentää kuiva-aineen sulavuutta ja altistaa mahahaavoille (Goodson ym. 1988, Rosenfeld ja Austbo 2009).

Karkearehujen prosessoinnin (mm. mekaaninen- ja lämpökäsittely) vaikutukset sulavuuteen ovat epäselviä. Karkearehun olomuoto voi olla pitkän korren lisäksi lyhyempää silppua tai pelletöityä rehua, mutta olomuodolla ei ole merkittävää vaikutusta sulavuuteen, vaikka olomuoto voi ruokasulan viipymäaikaan vaikuttaakin (Drogoul ym. 2001). Kuumennuskäsittelyllä voidaan lisätä kuidun sulavuutta, mutta kova lämpö voi myös lisätä ligniinin kaltaisten kuitujen määrää ja sitä kautta heikentää sulavuutta (Rosenfeld ja Austbo 2009).

## 2 TAVOITTEET

Tutkielman tavoitteena oli tarkastella meta-analyysillä hevosen väkirehutason ja dieetin ominaisuuksien vaikutusta sulavuuteen ja erityisesti tärkkelyksen ja solunsisällyshiilihydraattien vaikutusta kuidun sulavuuteen. Tutkimushypoteesina oli, että väkirehutason nousu parantaa dieetin kuiva-aineen sulavuutta, mutta solunsisällyshiilihydraattien ja erityisesti tärkkelyksen kasvanut saanti heikentää kuidun sulavuutta.

## 3 AINEISTO JA MENETELMÄT

### 3.1 Aineiston keruu ja kriteerit

Meta-analyysin aineistona käytettiin taulukossa 1 esitettyjä vertaisarvioituja ja julkaistuja tutkimuksia (21 kpl), yhtä kongressijulkaisua (Kerroun ym. 1997) ja yhtä Helsingin yliopistolle tehtyä maisterin tutkielmaa (Suomala 2016), jonka tuloksia ei ole julkaistu muualla. Tutkimusten haussa käytettiin Helsingin yliopiston kirjaston tietopalveluita, Scopus-tietokantaa, Google Scholaria, Research Gatea sekä Markku Saastamoisen arkistoa Luonnonvarakeskuksessa. Hakusanoina olivat "horse", "equine", "digestibility", "digestion", "nutrition", "concentrate", "roughage", "forage" ja "cereal" sekä näiden yhdistelmät.

Aineistoa ei rajattu hevosten iän, rodun tai käyttötarkoituksen mukaan. Sulavuusmäärittämisestä hyväksyttiin mukaan elävillä eläimillä kokonaiskeruulla ja merkkiaineella tehdyt tutkimukset. Mikäli samassa tutkimuksessa oli käytetty molempia määrittämiä, otettiin kokonaiskeruulla saadut tulokset mukaan analyysiin. Useamman merkkiaineen tutkimuksista valittiin se merkkiaine, jota kyseiset tutkijat pitivät itse luotettavimpana.

Aineistoon otettiin tutkimuksia tai niiden osia, joissa oli mitattu hevosen dieetin sulavuutta eri väkirehutasoilla, minimissään kaksi tutkittavaa dieettiä tutkimusta

kohden. Joissakin tutkimuksissa vertailudieettinä oli 100 % karkearehudieetti, väkirehutason vaihdellessa 0-80 % välillä. Tutkimuksissa käytetyt väkirehutasot on esitetty taulukossa 1. Mikäli kokeessa oli testattu faktoriaalisesti eri karkearehuja tai väkirehuja, nämä erotettiin aineistossa omaksi alakokeekseen. Jos dieettiin sisältyi pelletöityä karkearehua, myös tämä laskettiin aineistossa mukaan dieetin karkearehuosuuteen.

### 3.2. Aineiston täydentäminen

Aineistoon otettiin mukaan tutkimukset, joissa oli annettu riittävällä tarkkuudella tiedot käytetyistä rehuista. Artikkeleissa ilmoitettuja rehujen koostumustietoja täydennettiin taulukkoarvoilla. Karkearehuilla täydennyksessä käytettiin ensisijaisesti NRC:n (2007) taulukkoa ja tätä täydentämään tarvittaessa LUKE:n (2018) taulukoita. Väkirehujen osalta soveltuvimmaksi valittiin INRA:n, ZIRAD:in ja AFZ:n (INRA 2018) taulukko, josta löytyi taulukkoarvot tärkkelyspitoisuudelle toisin kuin NRC:n (2007) taulukosta. Suomessa tehtyä tutkimusta, Suomalain (2016) maisterin tutkielmaa täydennettiin LUKE:n (2018) rehutaulukon tiedoilla väkirehun osalta.

Rehun sisältämien solunsisällyshiilihydraattien pitoisuus (g/kg ka) laskettiin käyttäen laskentakaavaa  $\text{sshh-pitoisuus} = 1000 - \text{NDF} - \text{RV} - \text{EE} - \text{tuhka}$  (Van Soest ym. 1991). Karkearehujen arvoja täydennettiin (taulukko 1) rasvan (8 tutkimusta), tuhkan (2) ja NDF:n (6) pitoisuuksien osalta hyväksikäyttäen vastaavien karkearehujen taulukkoarvoja. Väkirehujen osalta eniten puuttui tärkkelysarvoja, joiden täydennettiin taulukkoarvoilla 12 kokeessa. Lisäksi taulukkoarvoilla täydennettiin aineistoa (taulukko 1) väkirehujen NDF-pitoisuuden (3 tutkimusta), rasvan (6), raakavalkuaisen (1) ja sshh-pitoisuuden (2) osalta. Dieettien pitoisuuksien laskennassa käytettiin taulukkoarvoja karkearehujen tärkkelyksen (4 tutkimusta) ja rasvan (1) arvioinnissa.

Taulukko 1. Yhteenveto meta-analyysin aineistona käytetyistä tutkimuksista.

Tutkimus	n	Rotutyyppi	Sukupuoli	Ikä	Mene- telmä	Karkearehu	Väkirehu	Väkirehu (%)	Taulukkoarvot: Karkearehu	Taulukkoarvot: Väkirehu	Taulukkoarvot: Dieetti
Bröckner ym. 2012	4	Kylmäverinen	Ruuna	5- 16v.	Kokonais- keruu	Heinä	Kaura, ohra ja melassileike, täydennysrehu (leike)	0-35			
Clutter ym. 1992	4	Lämminverinen	Ruuna	5-7v.	Kokonais- keruu	Nurmiheinä, sinimailanen	Mantelin kuoriosa	0-45	NDF	NDF, SSHH	
Coverdale ym. 2004	4	Lämminverinen	Ruuna	6- 10v.	Kokonais- keruu	Nurmiheinä, sinimailanen	Soijapavun kuoriosa	0-75	EE	EE, tärkekelys	Tärkekelys
Dansen ym. 2015	4	Poni	Ruuna	4v.	Kokonais- keruu	Nurmiheinä	Täydennysrehu (kaura)	0-30			
De Marco ym. 2012	6	Lämminverinen	Ruuna	3- 11v.	Kokonais- keruu	Nurmiheinä	Pellavarouhe, vehnälese	0-40		Tärkekelys	
De Marco ym. 2014	5	Lämminverinen	Ruuna	Aikui nen	Kokonais- keruu	Nurmiheinä	Riisi	0-30		Tärkekelys	
Drogoul ym. 2001	6	Poni	Ruuna/ori	Aikui nen	Merkkiaine	Nurmiheinä	Ohra	0-50		EE, rv, tärkekelys	
Hintz ym. 1971	3	Poni	Ruuna/ori	Aikui nen	Kokonais- keruu	Nurmiheinä	Maissi	0-80	EE, tuhka		
Holland ym. 1998	4	Lämminverinen		2-10v.	Kokonais- keruu	Nurmiheinä, sinimailanen	Täydennysrehu (vilja)	0-30			
Hussein ym. 2004	4	Lämminverinen	Ruuna/ori	ka 11,7v.	Kokonais- keruu	Sinimailanen	Ohra, maissi, kaura	0-29		Tärkekelys	
Jensen ym. 2014	4	Kylmäverinen	Ruuna	6-15v.	Merkkiaine	Nurmiheinä	Melassileike, ohra	0-32			
Joany ym. 2008	8	Poni	Ruuna/ori	ka 12v.	Kokonais- keruu	Olki, sinimailanen	Vehnälese, ohra, soijarouhe	38-75	EE, NDF	Tärkekelys	EE, tärkekelys
Kerrour ym. 1997	4	Lämminverinen		Aikui nen	Merkkiaine	Säilöheinä	Ohra, maissi, kaura	0-66	NDF	NDF, tärkekelys	



Taulukko 1. Yhteenveto meta-analyysin aineistona käytetyistä tutkimuksista.

Tutkimus	n	Rotutyyppi	Sukupuoli	Ikä	Menetelmä	Karkearehu	Väkirehu	Taulukkoarvot: Karkearehu	Taulukkoarvot: Väkirehu	Taulukkoarvot: Dieetti
Kienzle ym. 2002	4	Poni	Tamma, ruuna	3,5-10v.	Merkkiaine	Tuore nurmi, nurmiheinä, olki	Täydennysrehu; (kaura, ohra, melassileike, maissi)	NDF, tuhka		
Martin-Rosset ym. 1987	9	Kylmäverinen	Ori	10kk	Kokonaiskeruu	Nurmiheinä	Täydennysrehu (maissi)	EE, NDF	EE, NDF	
Miraglia ym. 2006	4	Lämminverinen		6-10v.	Kokonaiskeruu	Nurmiheinä	Täydennysrehu; (hedelmäleike)	EE		
Pagan ym. 1998	4	Lämminverinen	Ruuna	3-8v.	Kokonaiskeruu	Sinimailanen	Maissi, kaura		Tärkkelys	Tärkkelys
Palmgren Karlsson ym. 2000	4	Lämminverinen	Ruuna	4-11v.	Kokonaiskeruu	Nurmiheinä	Kaura			
Peiretti ym. 2006	5	Lämminverinen		6-10v.	Kokonaiskeruu	Nurmiheinä	Täydennysrehu (hedelmäleike)	EE	EE	
Peiretti ym. 2011	6	Lämminverinen		4-13v.	Kokonaiskeruu	Nurmiheinä	Kaura, maissi		Tärkkelys	
Suomala 2016	6	Kylmäverinen	Tamma	6-15v.	Kokonaiskeruu	Nurmiheinä	Kaura, rypsirouhe, pellavarouhe, soijarouhe	EE	EE, tärkkelys	
Vermorel ym. 1997	6	Lämminverinen ja poni	Ruuna	Aikui nen	Kokonaiskeruu	Nurmiheinä	Maissi	EE	EE, tärkkelys	
Vermorel ym. 1997	6	Lämminverinen	Ruuna	ka 9,5 v.	Kokonaiskeruu	Nurmiheinä, sinimailanen	Soijarouhe, ohra, maissi, juurikasleike	NDF (1 alakoe)	Tärkkelys, SSH (1 alakoe)	Tärkkelys (1 alakoe)

Käytetyt rehut voivat olla tutkimuksesta riippuen joko samassa tai eri alakokeessa käytettyjä. Täydennysrehujen pääasiallinen raaka-aine suluissa. n= hevosten lukumäärä alakokeessa, EE= ether extract, rasva, NDF= neutraalidetergenttikuitu, SSH= solunsisällyshiilihydraatit

Taulukkoarvojen käyttökelpoisuutta arvioitiin tutkimuksissa rehuista annettujen tietojen perusteella ja määritettyjen pitoisuuksien perusteella ja pyrittiin löytämään mahdollisimman hyvin tutkittua rehua vastaava rehu taulukoista. Mikäli pitoisuus ei ollut määritettävissä luotettavasti taulukosta puutteellisten tietojen vuoksi, jäi havaintokohta tyhjäksi. Eniten puuttuvia havaintoja oli väkirehun tärkkelyspitoisuudessa (taulukko 1).

Dieetin pitoisuudet laskettiin aineiston kokoamisen yhteydessä, mikäli niitä ei erikseen tutkimuksessa ilmoitettu. Eri komponenttien syönnit laskettiin kuiva-ainesyönnin perusteella niissä tutkimuksissa, jossa syönti oli ilmoitettu. Ruokintatason ilmoittaminen vaihteli tutkimuksien välillä ja sopivimmaksi esitystavaksi valittiin g ka/epkg joka ilmoitettiin suoraan osassa tutkimuksia ja osasta se laskettiin ilmoitetun syönnin ja elopainon perusteella.

Kokeiden tietojen perusteella laskettiin dieettiä kuvaava tunnusluku, tärkkelystaso ruokintakertaa kohden. Tärkkelystaso on laskettu tärkkelyksen syönnin, keskimääräisen elopainon ja päivittäisten ruokintakertojen avulla, ja ilmoitettu muodossa g/epkg/ruokintakerta. Sekä tärkkelyksen että solunsisällyhiilihydraattien syönnin perusteella laskettiin myös saantitaso elopainokiloa kohden. Tämä luku esitettiin muodossa g/epkg/pv.

### **3.3 Aineiston luokittelu**

Aineistosta muodostettiin luokkamuuttujia. Tutkimuksissa käytetyt hevoset luokiteltiin rodun perusteella kolmeen rotutyypiluokkaan, joilla voitiin olettaa olevan merkitystä dieetin sulavuudelle. Nämä luokat olivat ponit, kylmäveriset ja lämminveriset. Kahdeksassa (8) tutkimuksessa hevosten rotutyypin luokittelu tehtiin aikuispainon perusteella, ja tässä on myös käytetty hyväksi tietoa tutkimuksen tekopaikaista ja tutkijoiden edellisiä tutkimuksia (Saastamoinen). Lisäksi luokitteleva taustatietomuuttuja oli päiväkohtainen ruokintakertojen

määrä kokeessa (2-4 kertaa/pv), jota käytettiin ruokintakertakohtaisten dieetin pitoisuuksien määrittämisessä.

Tutkimuksissa oli käytetty useita eri karkearehuja ja yleisimpänä karkearehuna oli kuivattu nurmiheinä. Käytetyt väkirehut vaihtelivat merkittävästi, prosessoimattomasta kokonaisesta viljasta teollisiin väkirehuihin, joissa oli käytetty useita eri raaka-aineita. Väkirehut lajiteltiin neljään eri väkirehutyyppiin. Ensimmäiseen luokkaan otettiin mukaan kuitupitoiset väkirehut, joista yleisimmät olivat melassi- ja juurikasleike, soijapavun kuori sekä vehnälese. Yhteistä näille väkirehuille oli matala tärkkelyksen ja solunsisällyshiilihydraattien pitoisuus ja korkea kuitupitoisuus. Toisessa luokassa olivat kaurapohjaiset väkirehut, joihin kuului sekä kokonainen kaura että kauraa sisältäviä rehuseokset ja teolliset täydennysrehut. Kolmanteen luokkaan luokiteltiin sellaiset väkirehut, jotka sisältävät enimmäkseen ohraa, maissia tai riisiä, joiden tärkkelyksen ohtusuolisulavuus hevosella on oletettavasti heikompi kuin kauran (NRC 2007, De Marco 2014, INRA 2018). Luokat 2 ja 3 erosivat luokasta 1 myös väkirehun tärkkelyspitoisuuden perusteella, joka oli yli 200 g/kg ka luokkien 2 ja 3 väkirehuissa. Neljänteen luokkaan luokiteltiin rasvapitoiset väkirehut, mutta niiden havaintojen määrä oli pieni (1 alakoe).

### 3.4 Tilastollinen käsittely

Tilastollinen käsittely tehtiin SAS 9.4-ohjelmalla (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Aineiston analysointiin käytettiin ohjelman PROC MIXED-proseduuria. Ensimmäisen asteen regressiomalleissa sekä kulmakerroin että leikkauspiste sisällytettiin malleihin sekä kiinteinä että satunnaisina tekijöinä ja alakoe satunnaisena tekijänä (St. Pierre 2001). Mikäli leikkauspisteen ja kulmakertoimen kovarianssiestimaatti ei eronnut nolasta (valittu merkitsevyystaso  $p > 0,20$ ), siirryttiin käyttämään toista random-lausetta, jolla kovarianssitekijä poistettiin mallista (St. Pierre 2001). Jos malli ei ratkennut tai

satunnaistekijänä käytetyn kulmakertoimen varianssiestimaatti ei ollut tilastollisesti merkitsevästi nolasta poikkeava (merkitsevyystaso  $p > 0,20$ ), poistettiin kulmakerroin satunnaistekijänä mallista kokonaan (St. Pierre 2007). Kaikki muuttujat testattiin sekä ensimmäisen että toisen asteen regressiomallilla. Toisen asteen mallin tuloksia on esitetty taulukoissa vain, jos toisen asteen termin regressiokerroin oli merkitsevästi tai suuntaa-antavasti nolasta poikkeava ( $p < 0,10$ ).

Aineistosta testattiin myös selittävän muuttujan ja luokittelevien tekijöiden yhdysvaikutuksia (rotutyypin, väkirehutyypin). Tilastollisesti merkitsevien yhdysvaikutustestausten osalta kaikkien luokkien kulmakerrointen poikkeavuus nolasta testattiin muuttamalla luokkien järjestystä. Samalla testattiin luokkien välisten erojen tilastollinen merkitsevyys. Väkirehutyypin 4 jätettiin pois luokittelevilla muuttujilla tehdyistä testauksista (sekä yhdysvaikutustestaukset että väkirehutyypeittäin tehdyt 1. ja 2. asteen testaukset), havaintojen vähäisen määrän takia. Muissa testauksissa olivat mukana kaikki havainnot ellei toisin ole tulosten yhteydessä mainittu.

## 4 TULOKSET

### 4.1 Aineiston tunnusluvut

Aineiston tunnuslukuja on esitetty taulukoissa 2 ja 3. Alakokeita oli yhteensä 50 ja eri dieettejä aineistossa 113. Dieettien väkirehuprosentti oli enimmillään 80 %, mutta keskimäärin dieetit sisälsivät maltillisesti väkirehua (22,1 %). Tutkimusdieettien keskimääräinen ruokintataso oli 16,3 g ka/epkg, joka on lähellä LUKE:n (2018) ruokintasuositusten minimitasoa 500 kg hevoselle (1,5 % elopainosta, eli 15 g ka/epkg). Yleisesti kaikki dieetit olivat hevosten ruokinnan nykykäytäntöjen mukaisia ja sisälsivät hyvin myös kuitua, keskimääräisen NDF-

pitoisuuden ollessa 519 g/kg ka. Nurmiheinä oli yleisimmin käytetty karkearehu ja karkearehun keskimääräinen NDF-pitoisuus oli 604 g/kg ka. Osittain NDF-pitoisuuden vaihtelusta johtuen myös karkearehujen sshh-pitoisuus vaihteli paljon, keskiarvon ollessa 165 g/kg ka.

Taulukko 2. Rehujen ja dieetin koostumuksen tilastolliset tunnusluvut meta-analyysissä käytetystä aineistosta.

	n	Keskiarvo	Keskihajonta (sd)	Minimi	Maksimi
<b>Karkearehun ominaisuudet (g/kg ka)</b>					
Osuus dieetissä (%)	113	77,9	22,1	20,0	100
NDF	113	604	84,7	417	830
ADF	107	366	37,0	250	478
Sshh	106	165	69,1	31	303
<b>Väkirehun ominaisuudet (g/kg ka)</b>					
Osuus dieetissä (%)	113	22,1	22,0	0	80
Tärkkelys	54	449	232,0	1	869
Sshh	61	507	185,1	70	852
NDF	63	223	128,6	30	606
ADF	56	110	97,9	6	437
Raakavalkuainen	62	127	34,70	84	317
<b>Dieetin ominaisuudet (g/kg ka)</b>					
Tärkkelys	93	101	110,5	0	370
Sshh	97	238	105,9	31	465
NDF	107	519	110,0	255	758
ADF	101	307	69,0	115	478
Raakavalkuainen	110	113	31,7	21	198

Luvut sisältävät myös taulukkoarvojen perusteella arvioidut rehujen koostumustiedot.  
n= havaintojen määrä

Väkirehujen tärkkelys- ja NDF-pitoisuudessa oli suurta vaihtelua (taulukko 2), sillä aineistoa ei rajattu väkirehujen ominaisuuksien perusteella. Väkirehujen tärkkelyspitoisuus oli pienimmillään 1 g/kg ka kuitupitoisilla rehuilla, ja

suurimmillaan 869 g/kg ka, kun kyseessä oli riisiä sisältänyt väkirehu. Väkirehujen raakavalkuaispitoisuus oli keskimäärin 127 g/kg ka. Ainoastaan yhdessä alakokeessa käytettiin karkearehun valkuaistäydennykseen runsaasti valkuaista sisältänyttä väkirehua (raakavalkuaispitoisuus 317 g/kg ka).

Taulukko 3. Syönnin, ruokintatason ja sulavuuden tilastolliset tunnusluvut meta-analysissä käytetystä aineistosta.

	n	Keskiarvo	Keskihajonta (sd)	Minimi	Maksimi
<b>Syönti (kg/pv)</b>					
Kuiva-aine	93	7,74	2,32	1,9	12,4
Tärkkelys	82	0,68	0,75	0	2,90
Sshh	89	1,73	0,86	0,26	3,81
NDF	93	4,10	1,70	0,90	7,0
ADF	87	2,36	0,95	0,47	4,11
Raakavalkuainen	93	0,88	0,27	0,23	1,42
<b>Ruokintataso (g/epkg)</b>					
Ruokintataso (g ka/epkg)	102	16,3	3,32	9,0	22,6
Tärkkelystaso/pv	82	1,55	1,77	0	7,69
Tärkkelystaso/ruokintakerta	79	0,70	0,85	0	3,85
Sshh-taso	89	3,77	1,916	0,55	9,69
<b>Sulavuus (%)</b>					
Kuiva-aine	101	57,7	9,51	31,0	82,2
Raakavalkuainen	95	63,8	12,98	31,0	89,6
NDF	77	46,5	7,45	26,0	71,2
ADF	71	43,2	9,09	12,0	70,2

Ravintoaineiden syönnin laskennassa on osassa tutkimuksia käytetty taulukkoarvojen perusteella täydennettyjä rehujen koostumustietoja.

n=havaintojen lukumäärä

Dieetin tärkkelyspitoisuus vaihteli 0-370 g/kg ka välillä, 100 %:n karkearehudieettien sisältäessä yleensä 0 g tärkkelystä. Tärkkelystaso, joka suhteuttaa tärkkelykseen saannin tutkittavan hevosen elopainoon, vaihteli välillä 0-3,85 g/epkg/ruokintakerta, päiväkohtaisen saantitason ollessa tätä kaksi

kertaa suurempi (taulukko 3). Solunsisällyshiilihdyraattien määrä dieetissä oli hieman tärkkelyspitoisuuden vaihteluväliä suurempi, 31-465 g/kg ka, ollen keskimäärin 238g/kg ka. Sshh-syönti elopainokiloa kohden oli tärkkelystasojen suurempi, enintään 9,69 g ka/epkg.

Suurimmassa osassa dieettejä oli mitattu kuiva-aineen sulavuutta (n=101) ja raakavalkuaisen sulavuutta (n=95). Kuitufraktioiden sulavuuksia oli mitattu 77 (NDF) ja 71 (ADF) dieetin osalta. Raakavalkuaisen sulavuus oli tutkituista sulavuuksista keskimäärin korkein, 63,8 % ja kuiva-aineen toiseksi korkein 57,7 %. Kuitujen sulavuusprosentit jäivät matalammalle, ollen keskimäärin 46,5 % (NDF) ja 43,2 % (ADF). Suurin vaihteluväli oli raakavalkuaisen sulavuudessa (31-89,6 %) ja ADF:n sulavuudessa (12-70,2 %).

## 4.2 Väkirehuprosentti

Väkirehuprosentin vaikutus kuiva-aineen sulavuuteen riippui tutkimuksessa käytetystä väkirehutyypistä (yhdysvaikutuksen  $p < 0,001$ ) (taulukko 4). Kaikilla väkirehutyypeillä väkirehuprosentin nosto paransi kuiva-aineen sulavuutta ( $p < 0,001$ ). Vaikutus oli suurin ohraa ja maissia ym. sisältävillä väkirehuilla (väkirehutyyppi 3). Koko aineistossa, jossa olivat mukana kaikki väkirehutyypit, kuiva-aineen sulavuuden ja väkirehuprosentin välinen yhteys oli käyräviivainen (kuva 2). Väkirehun osuuden kasvaessa positiivinen vaikutus kuiva-aineen sulavuuteen pieneni.

Väkirehuprosentin ja väkirehutyypin yhdysvaikutus (taulukko 4) todettiin myös raakavalkuaisen ( $p = 0,003$ ) sulavuudessa. Väkirehutyyppejä vertailtaessa havaittiin, että tärkkelyspitoisilla väkirehuilla (väkirehutyypit 2 ja 3) väkirehuprosentin nosto paransi raakavalkuaisen sulavuutta tilastollisesti merkitsevästi, mutta näiden tyyppien välillä ei ollut eroa ( $p = 0,28$ ). Kuitupitoisen

Taulukko 4. Väkirehutyypin ja väkirehuprocentin yhdysvaikutukset dieetin sulavuuteen

Sulavuus (%)	Havainnot (n)	Leikkauspiste	SE	Kulmakerroin	SE	(1) p-arvo	(2) p-arvo	Yhdysvaikutus: väkirehutyypin x väkirehuprocentti
<b>Kuiva-aine</b>	75							<0,001
Väkirehutyypin 1: kuitupitoinen		57,6	2,01	0,12	0,037	<0,001	<0,001	
Väkirehutyypin 2: kaura		54,3	1,99	0,18	0,040	<0,001	0,002	
Väkirehutyypin 3: muut viljat		52,0	1,16	0,32	0,021	<0,001		
<b>Raakavaikute</b>	69							0,003
Väkirehutyypin 1: kuitupitoinen		68,1	4,43	-0,07	0,086	0,38	0,003	
Väkirehutyypin 2: kaura		63,9	4,19	0,31	0,095	<0,001	0,28	
Väkirehutyypin 3: muut viljat		60,9	2,42	0,21	0,049	<0,001		
<b>NDF</b>	70							0,02
Väkirehutyypin 1: kuitupitoinen		46,5	3,15	0,09	0,059	0,09	0,55	
Väkirehutyypin 2: kaura		46,7	2,93	-0,15	0,060	0,03	0,01	
Väkirehutyypin 3: muut viljat		45,9	1,74	0,05	0,032	0,10		
<b>ADF</b>	63							0,002
Väkirehutyypin 1: kuitupitoinen		42,4	3,30	0,10	0,060	0,05	0,30	
Väkirehutyypin 2: kaura		43,7	3,06	-0,17	0,063	0,003	0,002	
Väkirehutyypin 3: muut viljat		41,9	1,83	0,04	0,033	0,24		

(1) p-arvo: kulmakertoimen eroa nollasta kyseisellä väkirehutyypillä  
(2) p-arvo: kulmakertoimien poikkeaminen toisistaan, vertailukohtana väkirehutyypin 3



väkirehun (väkirehutyypin 1) lisääminen dieettiin ei vaikuttanut raakavalkuaisen sulavuuteen ( $p=0,38$ ).

Kuitufraktioiden (NDF ja ADF) sulavuudessa väkirehuprosentin ja väkirehutyypin välillä havaittiin yhdysvaikutuksia (taulukko 4). Väkirehutyypin 2 (kaura) erottui muista väkirehuista. Väkirehutyypillä 2 väkirehuprosentin nousu heikensi kuidun (sekä NDF että ADF) sulavuutta. Väkirehutyypillä 1 (kuitu) vaikutus oli vähintään suuntaa antavasti ( $p<0,09$ ) positiivinen. Väkirehutyypillä 3 ei havaittu tilastollisesti merkitsevää vaikutusta kuidun sulavuuteen.

Väkirehuprosentin vaikutus kuiva-aineen sulavuuteen riippui myös rodusta, sillä tämä yhdysvaikutus oli tilastollisesti suuntaa antava ( $p=0,05$ ). Vertailukohteena käytettiin ponia, joka erosi sekä kylmä-, että lämminverisestä ( $p=0,02$  ja  $p=0,01$ , järjestyksessä). Kaikilla rotutyypeillä väkirehuprosentti vaikutti positiivisesti kuiva-aineen sulavuuteen (taulukko 5), mutta poneilla kuiva-aineen sulavuus parani enemmän kuin muilla.

Taulukko 5. Rotutyypin ja väkirehuprosentin (%) yhdysvaikutukset kuiva-aineen sulavuuteen

Sulavuus (%)	n	Leikkaus- piste	SE	Kulma- kerroin	SE	(1) p- arvo	(2) p- arvo	Yhdys- vaikutus: rotu x väkirehu-%
<b>Kuiva-aine</b>	81							0,05
Lämminverinen		53,3	2,68	0,21	0,046	<0,001	0,01	
Kylmäverinen		55,7	2,94	0,18	0,061	<0,001	0,02	
Poni		49,5	2,38	0,34	0,038	<0,001		

(1) p-arvo: kulmakerroin eroaa nolasta kyseisellä rotutyypillä

(2) p-arvo: kulmakertoimien poikkeaminen toisistaan, vertailukohteena poni-rotutyypin

n = havaintojen lukumäärä

### 4.3. Tärkkelys

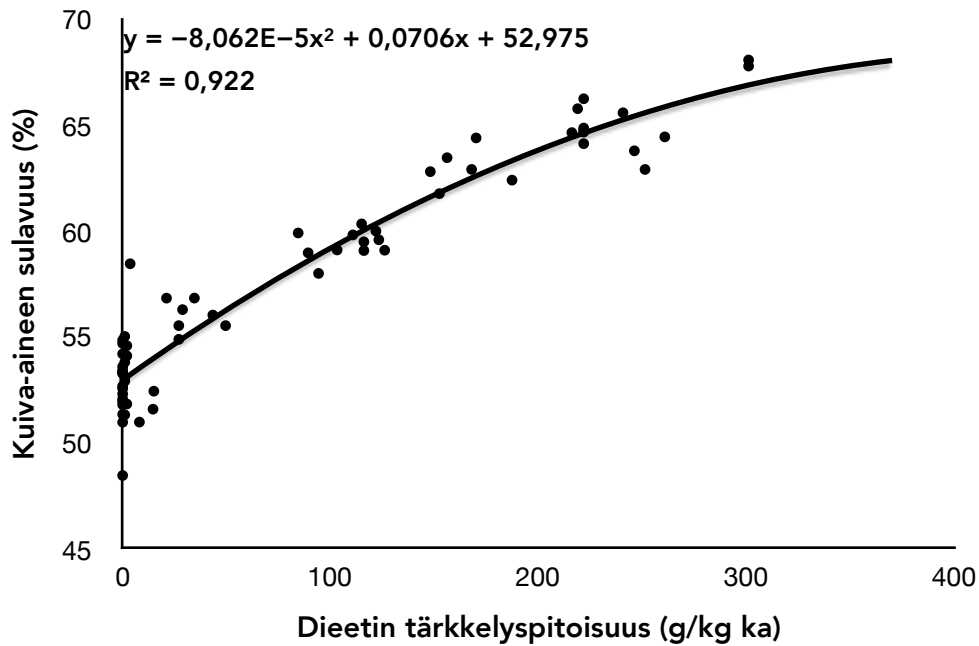
#### 4.3.1. Dieetin ja väkirehun tärkkelyspitoisuus

Dieetin tärkkelyspitoisuuden nousu paransi sekä kuiva-aineen ( $p < 0,001$ ), että raakavalkuaisen ( $p < 0,001$ ) sulavuutta lineaarisesti (taulukko 6). Toisen asteen mallin perusteella vaikutus kuiva-aineen sulavuuteen oli kuitenkin käyräviivainen (selitysaste 0,92). Pienillä dieetin tärkkelyspitoisuuksilla kuiva-aineen sulavuus parani selvästi, mutta tämä vaikutus heikkeni nopeasti (kuva 3).

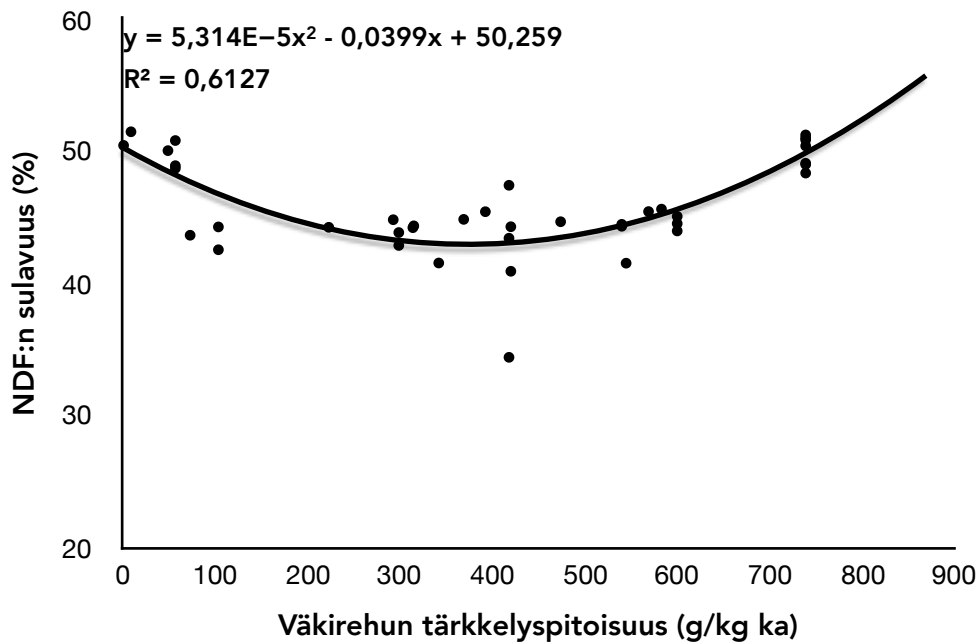
Taulukko 6. Dieetin ja väkirehun tärkkelyspitoisuuden (g/kg ka) vaikutus dieetin sulavuuteen

Sulavuus (%)	Havainnot (n)	Leikkauspiste	SE	Kulma-kerroin	SE	p-arvo	Selitysaste
<b>Dieetin tärkkelyspitoisuus</b>							
Kuiva-aine	70	53,2	0,87	0,05	0,003	<0,001	0,92
Raakavalkuainen	64	63,3	1,74	0,03	0,008	<0,001	0,36
NDF	69	46,6	1,07	-0,006	0,0056	0,28	0,07
ADF	56	43,5	1,17	-0,009	0,0069	0,19	0,15
<b>Väkirehun tärkkelyspitoisuus</b>							
Kuiva-aine	40	55,0	1,82	0,02	0,004	0,007	0,75
Raakavalkuainen	37	66,2	2,82	0,006	0,006	0,34	0,07
NDF	39	45,6	2,60	0,001	0,005	0,90	0,01
ADF	32	42,7	3,34	-0,001	0,0065	0,89	0,005

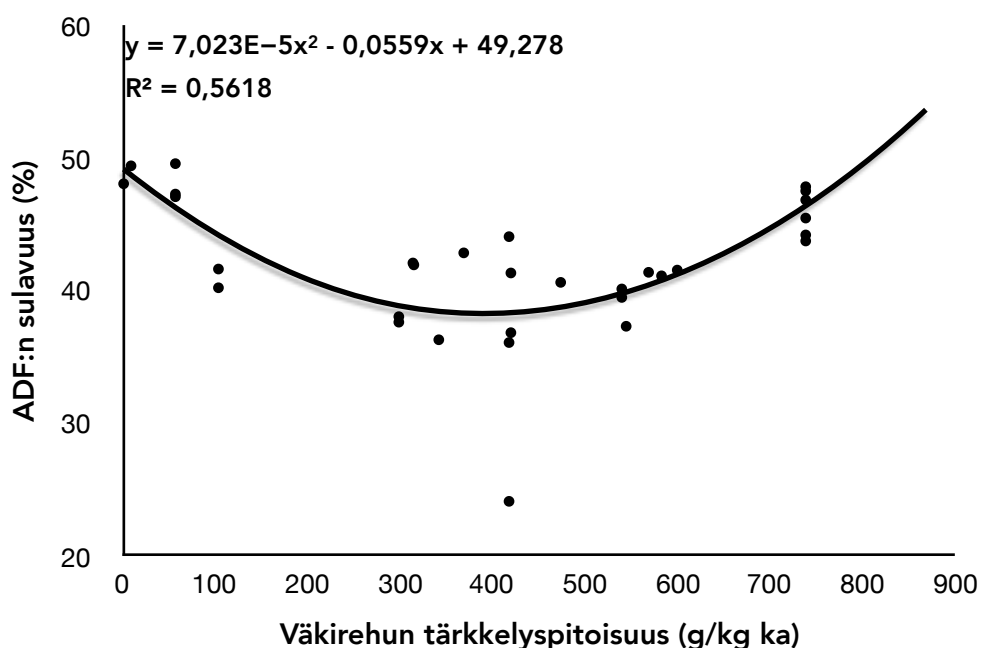
Dieetin tai väkirehun tärkkelyspitoisuudella ei ollut lineaarista vaikutusta kuidun (NDF ja ADF) sulavuuteen (taulukko 6). Sen sijaan väkirehun tärkkelyspitoisuus vaikutti sekä NDF:n (kuva 4;  $p = 0,05$ ) että ADF:n (kuva 5;  $p = 0,04$ ) sulavuuteen käyräviivaisesti. Toisen asteen mallin perusteella väkirehun tärkkelyspitoisuuden kasvu heikensi aluksi kuidun sulavuutta, mutta väkirehun sisältäessä yli 400 g/kg ka tärkkelystä, kuidun sulavuuskäyrä lähti jälleen nousemaan (kuvat 4 ja 5).



Kuva 3. Dieetin tärkkelyspitoisuuden (g/kg ka) ja kuiva-aineen sulavuuden (%) käyräviivainen yhteys (n=70). Tunnusluvut (suluissa SE): Leikkauspiste 53,0 (0,86); 1. asteen termi 0,07 (0,009),  $p < 0,001$ ; 2. asteen termi -0,00008 (0,000038),  $p = 0,04$ . Selitysaste 0,92.



Kuva 4. Väkirehun tärkkelyspitoisuuden (g/kg ka) ja NDF:n sulavuuden (%) käyräviivainen yhteys (n=39). Tunnusluvut (suluissa SE): Leikkauspiste 50,3 (2,98); 1. asteen termi -0,04 (0,016),  $p = 0,06$ ; 2. asteen termi -0,00005 (0,000021),  $p = 0,05$ . Selitysaste 0,61.



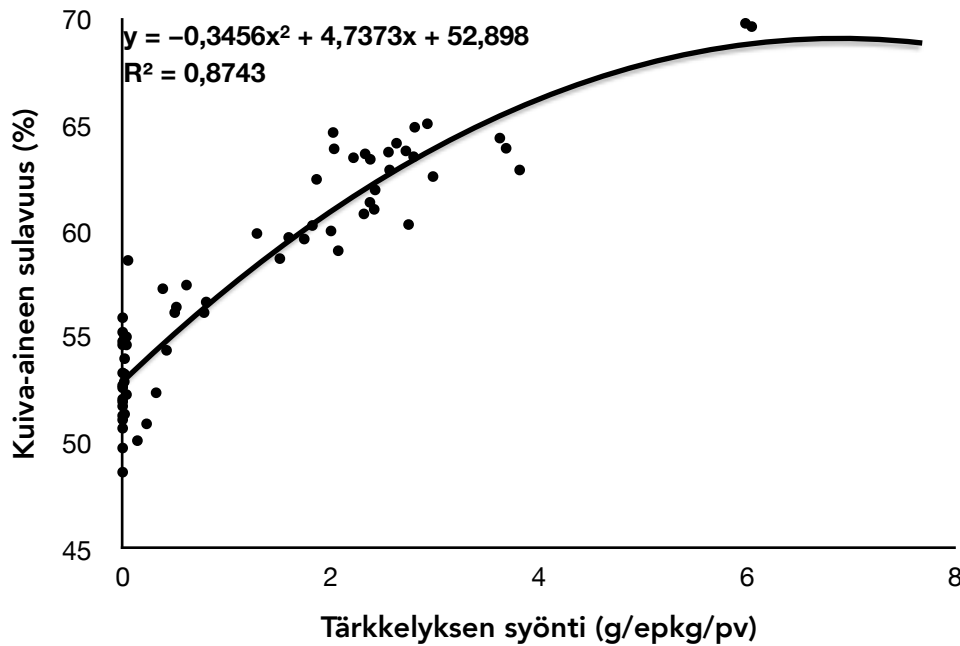
Kuva 5. Väkirehun tärkkelyspitoisuuden (g/kg ka) ja ADF:n sulavuuden (%) käyräviivainen yhteys (n=32). Tunnusluvut (suluissa SE): Leikkauspiste 49,3 (3,68); 1. asteen termi -0,06 (0,019), p=0,05; 2. asteen termi -0,00007 (0,000024), p=0,04. Selitysaste 0,56.

#### 4.3.2 Tärkkelyksen syönti

Tärkkelyksen syönnin (g/epkg) yhteys kuiva-aineen ja raakavalkuaisen sulavuuteen oli positiivinen (taulukko 7). Paremmin tärkkelyksen syönnin vaikutusta kuiva-aineen sulavuuteen selitti toisen asteen malli (kuva 6). Mallin mukaan tärkkelyksen syönti nosti aluksi kuiva-aineen sulavuutta, mutta positiivinen vaikutus kuiva-aineen sulavuuteen heikkeni kun taso ylitti 4 g/epkg/pv.

Taulukko 7. Tärkkelyksen syönnin (g/epkg) vaikutus dieetin sulavuuteen

Sulavuus	Havainnot (n)	Leikkauspiste	SE	Kulma-kerroin	SE	p-arvo	Selitysaste
Kuiva-aine	70	53,3	0,89	3,44	0,266	<0,001	0,85
Raakavalkuainen	64	62,9	1,74	2,62	0,54	<0,001	0,47
NDF	66	46,9	1,16	-0,64	0,364	0,09	0,10
ADF	56	43,7	1,19	-0,71	0,462	0,14	0,18



Kuva 6. Tärkkelyksen syönnin (g/epkg) ja kuiva-aineen sulavuuden (%) käyräviivainen yhteys (n=70). Tunnusluvut (suluissa SE): Leikkauspiste 52,9 (0,88); 1. asteen termi 4,74 (0,505),  $p < 0,001$ ; 2. asteen termi -0,35 (0,118),  $p = 0,006$ . Selitysaste 0,87.

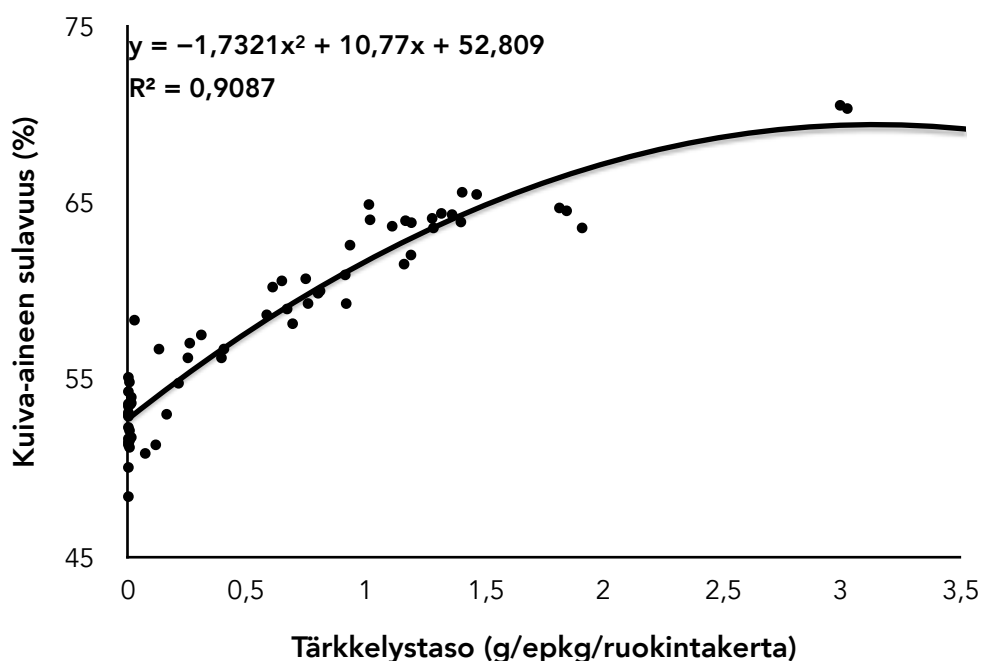
Lineaarisella mallilla tarkasteltuna tärkkelyksen syöinti heikensi suuntaa antavasti NDF:n ( $p = 0,09$ ) sulavuutta. ADF:n sulavuuden osalta yhteys ei ollut tilastollisesti merkitsevä ( $p = 0,14$ ).

#### 4.3.3 Tärkkelystaso

Dieetin tärkkelystaso (g tärkkelystä/epkg/ruokintakerta) selitti kuiva-aineen ja raakavalkuaisen sulavuutta vastaavasti kuin dieetin tärkkelyspitoisuus (taulukko 8). Tärkkelystason kasvu paransi sekä kuiva-aineen (selitysaste 0,93) että raakavalkuaisen (selitysaste 0,44) sulavuutta (taulukko 8) tilastollisesti merkitsevästi. Kuiva-aineen sulavuuden osalta saman kaltainen selitysaste (0,91) saatiin käyräviivaisella mallilla, jonka mukaan kuiva-aineen sulavuus parani pienillä tärkkelystasoilla, mutta positiivinen vaikutus lakkasi tärkkelystason lähestyessä 3 g/epkg/ruokintakerta (kuva 7).

Taulukko 8. Tärkkelystason (g/epkg/ruokintakerta) vaikutus dieetin sulavuuteen

Sulavuus (%)	Havainnot (n)	Leikkauspiste	SE	Kulma-kerroin	SE	p-arvo	Selitysaste
Kuiva-aine	70	53,3	0,92	7,88	0,619	<0,001	0,93
Raaka-valkuainen	64	63,0	1,72	5,37	1,178	<0,001	0,44
NDF	66	46,8	1,09	-0,94	0,894	0,30	0,07
ADF	56	43,6	1,16	-1,41	1,036	0,19	0,18



Kuva 7. Tärkkelystason (g/epkg/ruokintakerta) ja kuiva-aineen sulavuuden (%) käyräviivainen yhteys (n=70). Tunnusluvut (suluissa SE): Leikkauspiste 52,8 (0,89); 1. asteen termi 10,77 (0,931),  $p < 0,001$ ; 2. asteen termi -1,73 (0,422),  $p < 0,001$ . Selitysaste 0,91.

Kuidun sulavuuteen tärkkelystaso ei vaikuttanut tilastollisesti merkitsevästi, kun aineistoa käsiteltiin kokonaisuutena (taulukko 8). Väikirehutyypin ja tärkkelystason välillä havaittiin kuitenkin yhdysvaikutuksia tutkittaessa kuidun sulavuutta (taulukko 9). Kuitupitoisilla väikirehuilla (tyyppi 1) tärkkelystaso ei vaikuttanut kuidun sulavuuteen (taulukko 9).

Taulukko 9. Väkirehutyypin ja tärkkelystason (g/epkg/ruokintakerta) yhdysvaikutukset kuitufraktioiden (NDF ja ADF) sulavuuteen

Sulavuus (%)	n	Leik- kaus- piste	SE	Kulma- kerroin	SE	(1) p- arvo	(2) p- arvo	Yhdysvaikutus: Väkirehutyyppi x tärkkelystaso
<b>NDF</b>	64							0,08
Väkirehutyyppi 1		50,2	3,12	-4,50	3,264	0,19	0,23	
Väkirehutyyppi 2		46,8	2,60	-4,15	1,798	0,01	0,05	
Väkirehutyyppi 3		46,8	1,64	-0,52	0,914	0,57		
<b>ADF</b>	56							0,04
Väkirehutyyppi 1		47,7	4,16	-4,51	4,496	0,34	0,43	
Väkirehutyyppi 2		43,9	2,90	-6,15	2,013	0,002	0,002	
Väkirehutyyppi 3		43,2	1,80	-0,91	1,025	0,38		

(1) p-arvo: kulmakerroin eroaa nolasta kyseisellä väkirehutyypillä

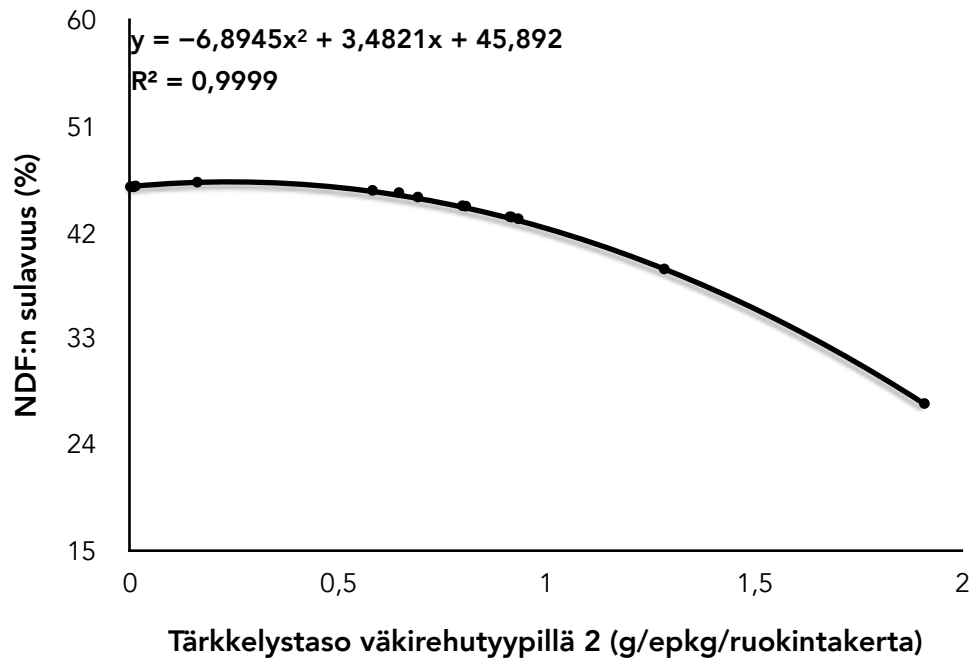
(2) p-arvo: kulmakertoimien poikkeaminen toisistaan, vertailukohteena väkirehutyyppi 3

n = havaintojen lukumäärä

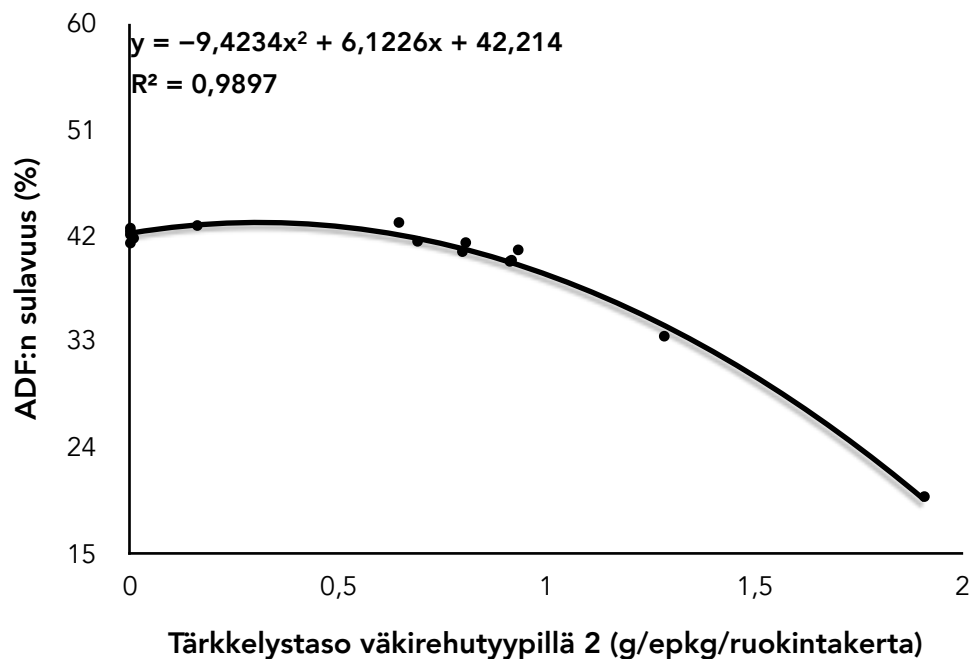
Vertailtaessa tärkkelyspitoisia väkirehuja (tyypit 2 ja 3) havaittiin, että kaurapitoisilla väkirehuilla (tyyppi 2) tärkkelystason nousu heikensi sulavuutta merkitsevästi enemmän kuin muita viljoja sisältävillä väkirehuilla (tyyppi 3). NDF:n osalta yhdysvaikutus ja väkirehutyypien 2 ja 3 ero oli suuntaa antava, kun taas ADF:n osalta erot olivat tilastollisesti merkitseviä (taulukko 9).

Aineiston rajaus vain kaurapohjaisiin väkirehuihin (tyyppi 2, n=20) osoitti tärkkelystason (g/epkg/ruokintakerta) nousun heikentävän NDF:n sulavuutta tilastollisesti merkitsevästi (taulukko 9).

Käyräviivaiset mallit selittivät hyvin NDF:n (kuva 8) ja ADF:n (kuva 9) sulavuutta kaurapohjaisilla väkirehuilla (väkirehutyyppi 2). Näissä malleissa 2. asteen termin kerroin oli vähintään suuntaa antavasti nolasta poikkeava ja molempien mallien selitysaste oli korkea (0,99). Käyräviivaisen mallin mukaan sekä NDF:n että ADF:n sulavuus alkoi heikentyä kun tärkkelystaso nousi yli 0,5 g/epkg/.



Kuva 8. Tärkkelystason (g/epkg/ruokintakerta) ja NDF:n sulavuuden (%) käyräviivainen yhteys (n=20) kaurapohjaisilla väkirehuilla (tyyppi 2). Tunnusluvut (suluissa SE): Leikkauspiste 45,9 (2,14); 1. asteen termi 3,48 (1,664),  $p=0,07$ ; 2. asteen termi -6,89 (0,212),  $p=0,02$ . Selitysaste 0,99.

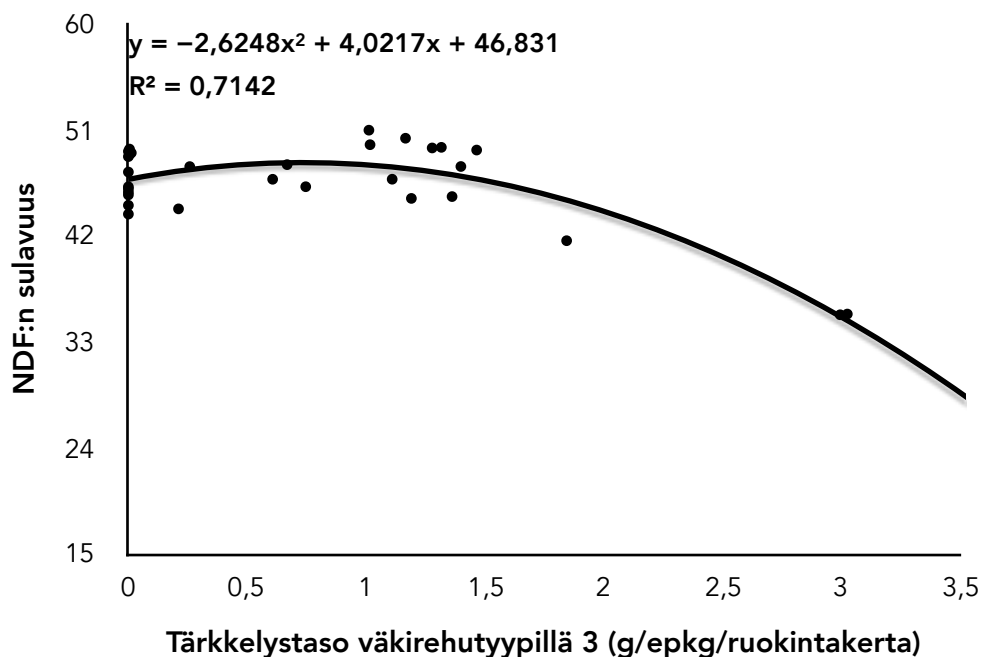


Kuva 9. Tärkkelystason (g/epkg/ruokintakerta) ja ADF:n sulavuuden (%) käyräviivainen yhteys (n=18) kaurapohjaisilla väkirehuilla (tyyppi 2). Tunnusluvut (suluissa SE): Leikkauspiste 42,2 (3,02); 1. asteen termi 6,12 (2,190),  $p=0,03$ ; 2. asteen termi -9,42 (1,434),  $p=0,096$ . Selitysaste 0,99.

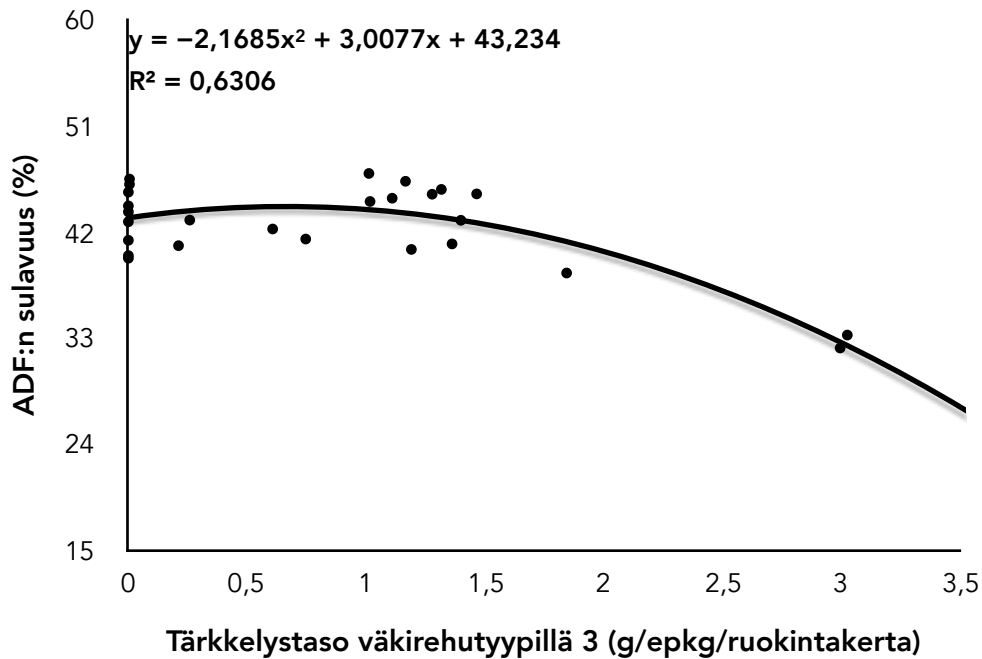


Kuvaajien (kuvat 8 ja 9) perusteella tärkkelystason ja ADF:n sulavuuden negatiivinen yhteys oli hyvin selkeä, ja kuvaajassa käyräviivaisuus korostui kun tärkkelystaso ylitti 1 g/epkg/ruokintakerta.

Väkirehutyypillä 3 (muut viljat) tärkkelystaso ei vaikuttanut kuidun sulavuuteen lineaarisesti. Käyräviivainen malli sen sijaan osoitti, että pienillä tärkkelystasoilla kuidun sulavuus ei heikentynyt väkirehutyypillä 3 sisältävillä väkirehuilla, mutta tärkkelystason noustessa yli 1 g/epkg/ruokintakerta, sekä NDF:n että ADF:n sulavuus kääntyi laskuun (kuvat 10 ja 11). Käyräviivaisuus korostui mallissa, kun tärkkelystaso ylitti 2 g/epkg/ruokintakerta, eli sulavuuden heikkeneminen voimistui tätä suuremmilla tärkkelystasoilla. Käyräviivaisten mallien selitysasteet olivat hyvät, 0,71 (NDF) ja 0,63 (ADF).



Kuva 10. Tärkkelystason (g/epkg/ruokintakerta) ja NDF:n sulavuuden (%) käyräviivainen yhteys (n=30) väkirehutyypillä 3 (muut viljat). Tunnusluvut (suluissa SE): Leikkauspiste 46,8 (1,26); 1. asteen termi 4,02 (1,651), p=0,03; 2. asteen termi -2,62 (0,766), p=0,005. Selitysaste 0,71.



Kuva 11. Tärkkelystason (g/epkg/ruokintakerta) ja ADF:n sulavuuden (%) käyräviivainen yhteys (n=28) väkirehutyypillä 3 (muut viljat). Tunnusluvut (suluissa SE): Leikkauspiste 43,2 (1,14); 1. asteen termi 3,01 (1,697),  $p=0,10$ ; 2. asteen termi -2,17 (0,724),  $p=0,01$ . Selitysaste 0,63.

#### 4.4 Solunsisällyshiilihydraatit

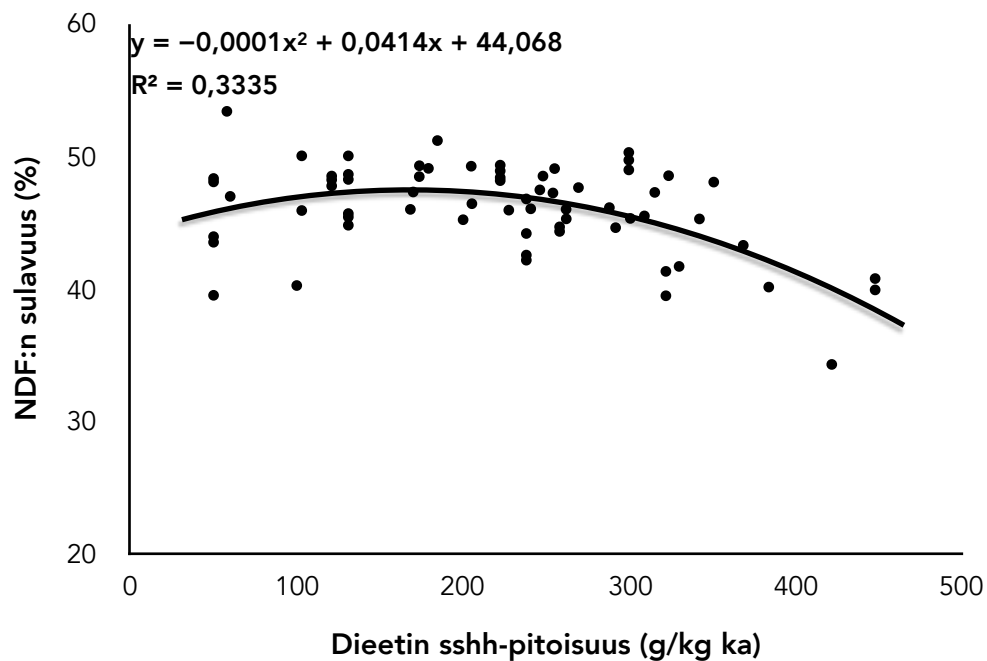
Solunsisällyshiilihydraattien pitoisuuden kasvu paransi dieetin kuiva-aineen ja valkuaisen sulavuutta ( $p<0,001$ ) (taulukko 10). Dieetin sshh-pitoisuuden noustessa 100 g/kg ka, kuiva-aineen sulavuus parani 6 prosenttiyksikköä ja valkuaisen sulavuus vastaavasti 4 prosenttiyksikköä. ADF:n sulavuuteen sshh-pitoisuuden kasvu sen sijaan vaikutti heikentävästi, 2 prosenttiyksikköä kun pitoisuus kasvoi 100 g/kg ka ( $p=0,02$ ). NDF:n sulavuuteen sshh-pitoisuudella ei ollut vaikutusta ( $p=0,36$ ).

Dieetin sshh-pitoisuuden ja kuidun sulavuuden välillä oli käyräviivainen yhteys (selitysasteet 0,33 (NDF) ja 0,47 (ADF)). Pienillä pitoisuuksilla (<200 g/kg ka) dieetin sshh-pitoisuuden kasvu vaikutti hyvin vähän kuidun sulavuuteen, mutta pitoisuuden kasvaessa yli 200 g/kg ka, alkoi sekä NDF:n ( $p=0,01$ ) että ADF:n ( $p=0,006$ ) sulavuus heikentyä (kuvat 12 ja 13). Dieetin sshh-pitoisuuden nousu

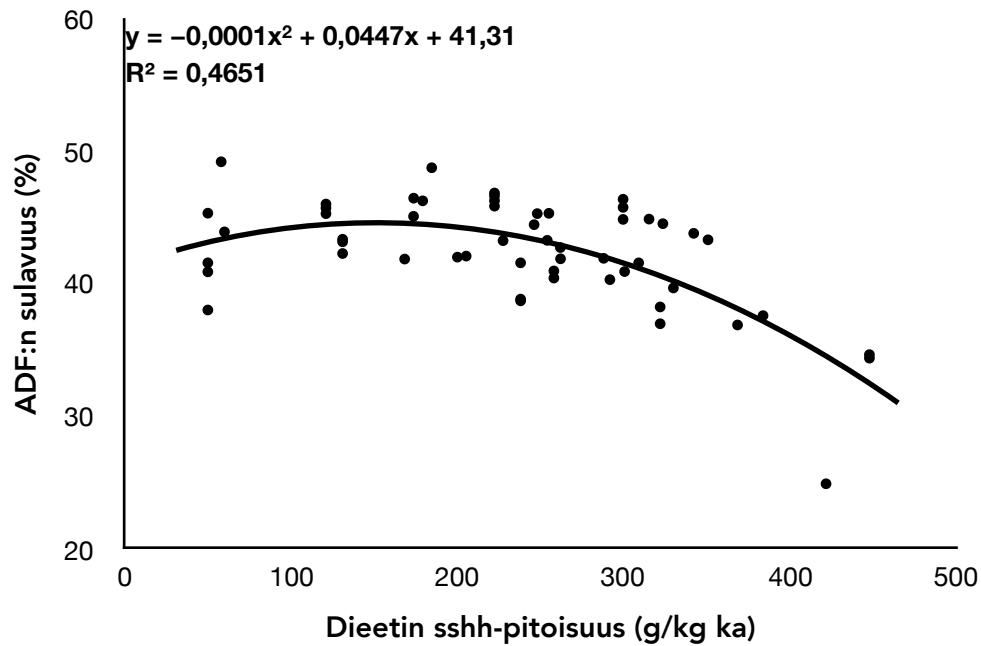
vaikutti molempiin kuitufraktioihin samalla tavalla, toisen asteen yhtälöt erosivat ainoastaan leikkauspisteeltään, sillä ADF:n sulavuuden lähtötaso oli hieman matalampi kuin NDF:llä.

Taulukko 10. Dieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden (g/kg ka) vaikutus dieetin sulavuuteen

Sulavuus (%)	Havainnot (n)	Leikkauspiste	SE	Kulma-kerroin	SE	p-arvo	Selitysaste
Kuiva-aine	70	44,4	1,20	0,06	0,004	<0,001	0,94
Raaka- valkuainen	64	56,4	2,47	0,04	0,009	<0,001	0,50
NDF	66	48,0	1,46	-0,01	0,007	0,36	0,06
ADF	56	46,6	1,99	-0,02	0,007	0,02	0,26



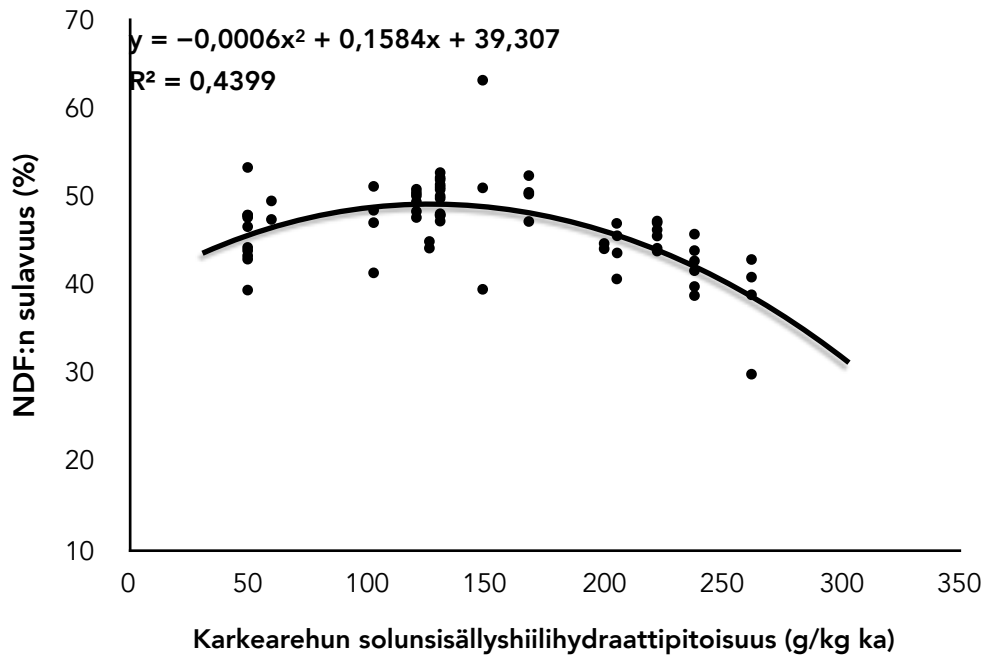
Kuva 12. Dieetin sshh-pitoisuuden (g/kg ka) ja NDF:n sulavuuden (%) käyräviivainen yhteys (n=66). Tunnusluvut (suluissa SE): Leikkauspiste 44,1 (2,35); 1. asteen termi 0,04 (0,021), p=0,05; 2. asteen termi -0,0001 (0,00005), p=0,01. Selitysaste 0,33.



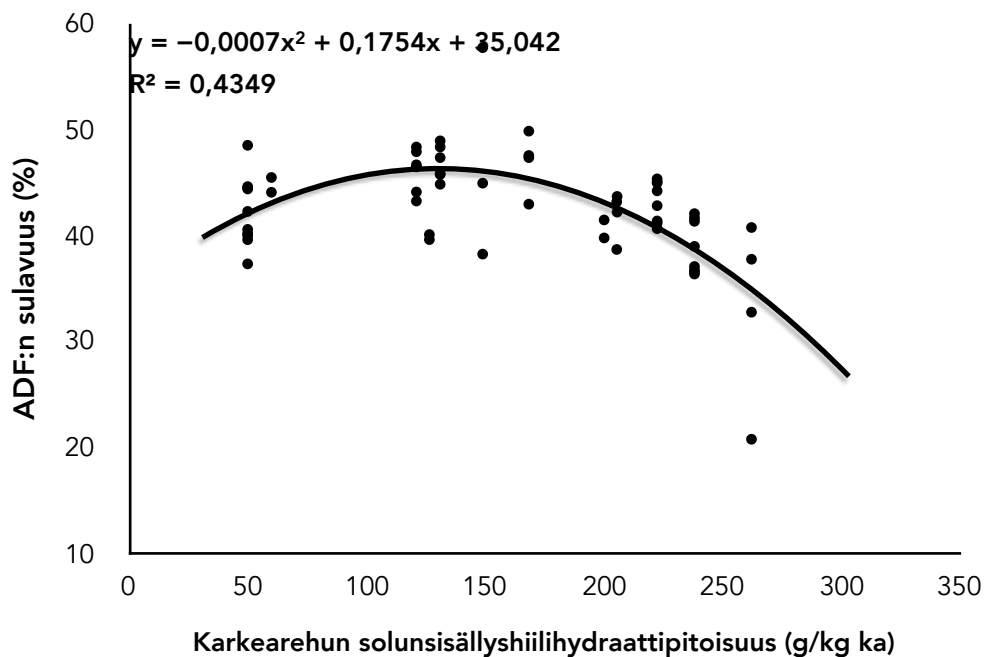
Kuva 13. Dieetin sshh-pitoisuuden (g/kg ka) ja ADF:n sulavuuden (%) käyräviivainen yhteys (n=56). Tunnusluvut (suluissa SE): Leikkauspiste 41,3 (2,62); 1. asteen termi 0,04 (0,022), p=0,06; 2. asteen termi -0,0001 (0,00005), p=0,006. Selitysaste 0,47.

Karkearehun sshh-pitoisuuden ja sekä NDF:n että ADF:n sulavuuden välillä havaittiin käyräviivainen yhteys (2. asteen termit; NDF: p=0,03 ja ADF: p=0,02). Mallien (kuvat 14 ja 15) perusteella kuitufraktion sulavuus parani kun karkearehun sshh-pitoisuus nousi, mutta käyrä saavutti huippunsa kun karkearehun sshh-pitoisuus oli noin 125 g/kg ka ja tämän pitoisuuden jälkeen sekä NDF:n että ADF:n sulavuus alkoi laskea.

Solunsisällyshiilihydraattien syönti (g/epkg) vaikutti sekä kuiva-aineen että valkuaisen sulavuuteen positiivisesti (taulukko 11). Kuiva-aineen osalta yhteys oli käyräviivainen (p=0,01), eli sshh:n positiivinen vaikutus heikkeni syönnin kasvaessa (kuva 16). Käyräviivaisen mallin selitysaste (0,91) oli hieman parempi kuin vastaavan lineaarisen mallin (0,86).



Kuva 14. Karkearehun sshh-pitoisuuden (g/kg ka) ja NDF:n sulavuuden (%) käyräviivainen yhteys (n=69). Tunnusluvut (suluissa SE): Leikkauspiste 39,3 (5,52); 1. asteen termi 0,16 (0,082),  $p=0,06$ ; 2. asteen termi -0,0006 (0,00027),  $p=0,03$ . Selitysaste 0,44.

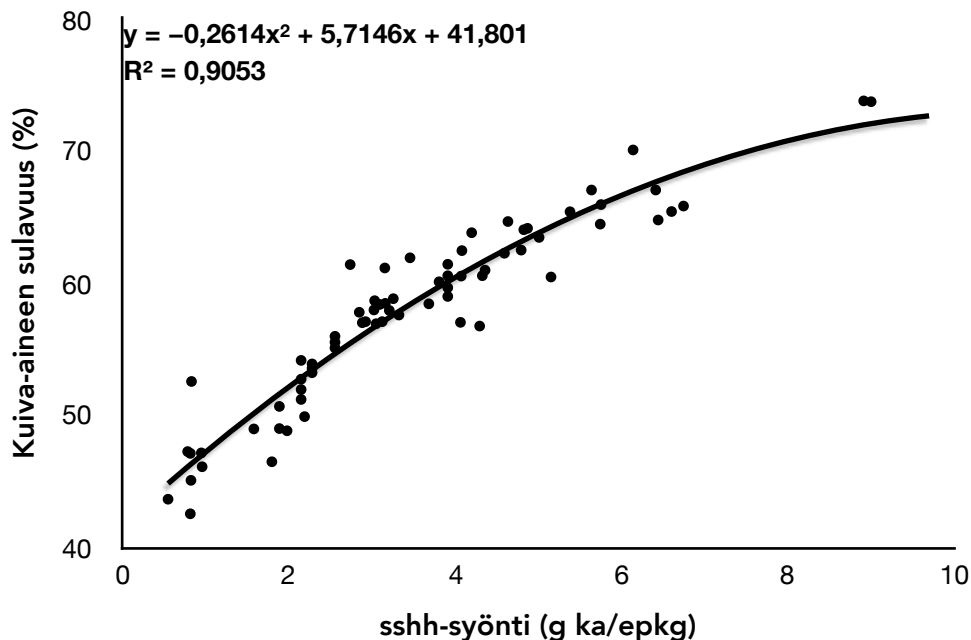


Kuva 15. Karkearehun sshh-pitoisuuden (g/kg ka) ja ADF:n sulavuuden (%) käyräviivainen yhteys (n=59). Tunnusluvut (suluissa SE): Leikkauspiste 35,0 (5,51); 1. asteen termi 0,18 (0,085),  $p=0,05$ ; 2. asteen termi -0,0007 (0,00028),  $p=0,02$ . Selitysaste 0,43.

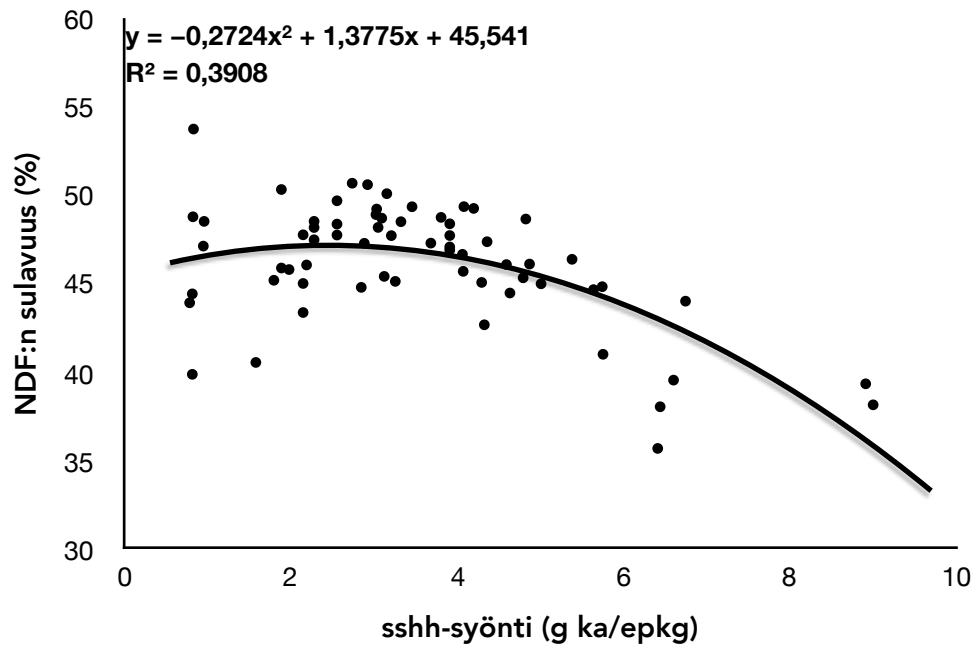
Taulukko 11. Solunsisällyshiilihydraattien syönnin (g ka/epkg) vaikutus dieetin sulavuuteen

Sulavuus (%)	Rajaus	Havainnot (n)	Leikkauspiste	SE	Kulma-kerroin	SE	p-arvo	Selitysaste
Kuiva-aine		70	45,2	1,59	3,57	0,345	<0,0001	0,86
Raaka- valkuainen		64	57,0	2,61	2,66	0,593	<0,0001	0,57
NDF		66	48,1	1,55	-0,46	0,439	0,30	0,09
ADF		56	45,1	1,43	-0,55	0,504	0,28	0,12

Kuitufraktioiden (NDF ja ADF) sulavuudella ja sshh-syönnillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää lineaarista yhteyttä. Käyräviivaisen mallin ( $p=0,03$ ) mukaan pienillä sshh-syönneillä yhteys NDF:n sulavuuteen oli hieman positiivinen, mutta NDF:n sulavuus kääntyi selvään laskuun kun syönti oli yli 4 g/epkg/pv. Tämän mallin (kuva 17) selitysaste on kohtuullinen, 0,39.



Kuva 16. Sssh-syönnin (g ka/epkg) ja kuiva-aineen sulavuuden (%) käyräviivainen yhteys ( $n=70$ ). Tunnusluvut (suluissa SE): Leikkauspiste 41,8 (1,93); 1. asteen termi 5,71 (0,843),  $p<0,0001$ ; 2. asteen termi -0,26 (0,099),  $p=0,01$  Selitysaste 0,91.



Kuva 17. Sssh-syönnin (g/epkg/pv) ja NDF:n sulavuuden (%) käyräviivainen yhteys (n=66). Tunnusluvut (suluissa SE): Leikkauspiste 45,5 (2,27); 1. asteen termi 1,38 (1,051),  $p=0,20$ ; 2. asteen termi -0,27 (0,121),  $p=0,03$ . Selitysaste 0,39.

#### 4.5. NDF-pitoisuus

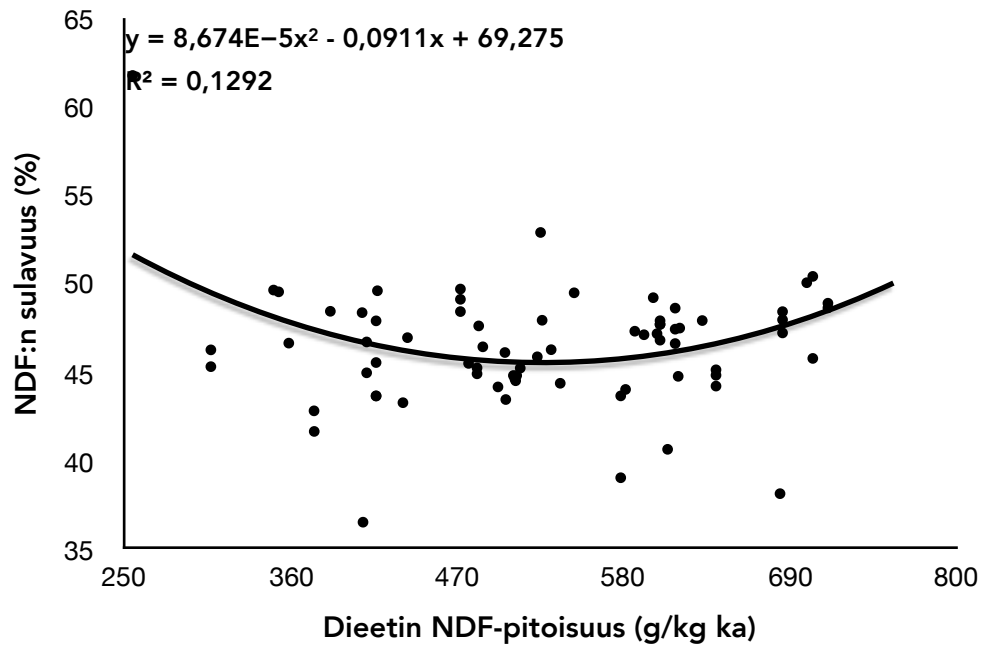
Karkearehun NDF-pitoisuuden ja sekä kuiva-aineen että raakavalkuaisen sulavuuden negatiivinen yhteys (taulukko 12) oli tilastollisesti suuntaa antava, mutta lineaarisen mallien selitysasteet olivat heikot (ka: 0,12 ja rv: 0,26). Huomattavasti paremmin kuiva-aineen ja raakavalkuaisen sulavuutta selittivät kuitenkin mallit joissa selittävänä tekijänä oli dieetin NDF-pitoisuus. Dieetin NDF-pitoisuuden kasvaessa kuiva-aineen sulavuus heikkeni (selitysaste 0,93), samoin kuin raakavalkuaisen sulavuus (selitysaste 0,65). Mallin mukaan kuiva-aineen sulavuus heikkeni 6 prosenttiyksikköä, kun dieetin NDF-pitoisuus kasvoi 100 g/kg ka. Raakavalkuaisen osalta vastaava luku oli 5 prosenttiyksikköä.

Taulukko 12. Rehujen ja dieetin NDF-pitoisuuden (g/kg ka) vaikutus dieetin sulavuuteen

Sulavuus	Havainnot (n)	Leikkauspiste	SE	Kulma-kerroin	SE	p-arvo	Selitysaste
<b>Karkearehun NDF-pitoisuus</b>							
Kuiva-aine	77	74,9	5,09	-0,03	0,009	0,07	0,12
Raakavalkuainen	71	95,4	7,80	-0,05	0,013	<0,001	0,26
NDF	72	38,8	7,13	0,01	0,012	0,28	0,10
ADF	63	36,9	7,13	0,01	0,012	0,42	0,06
<b>Väkirehun NDF-pitoisuus</b>							
Kuiva-aine	45	63,8	2,23	-0,01	0,009	0,38	0,10
Raakavalkuainen	42	69,0	2,62	-0,002	0,0103	0,83	0,003
NDF	41	43,4	2,92	0,01	0,012	0,25	0,37
ADF	37	42,1	3,20	0,001	0,0164	0,96	0,001
<b>Dieetin NDF-pitoisuus</b>							
Kuiva-aine	77	89,5	1,96	-0,06	0,003	<0,001	0,93
Raakavalkuainen	71	93,9	3,83	-0,05	0,008	<0,001	0,65
NDF	72	45,7	3,42	0,001	0,0062	0,83	0,002
ADF	63	39,5	3,60	0,006	0,0067	0,36	0,04

Dieetin tai sen komponenttien NDF-pitoisuus ei aineiston perusteella vaikuttanut kuitufraktioiden (NDF, ADF) sulavuuteen tilastollisesti merkitsevästi. Dieetin NDF-pitoisuuden havaittiin vaikuttavan käyräviivaisesti NDF:n sulavuuteen ( $p=0,05$ ). Mallin 2. asteen termi oli positiivinen, eli hyvin pienillä NDF-pitoisuuksilla NDF:n sulavuus heikkeni ja kääntyi jälleen nousuun kun dieetin NDF-pitoisuus on noin 500 g/kg ka (Kuva 18). Väkirehun NDF-pitoisuudella ei todettu tilastollisesti merkitsevää vaikutusta sulavuuteen.





Kuva 18. Dieetin NDF-pitoisuuden (g/kg ka) ja NDF:n sulavuuden (%) käyräviivainen yhteys (n=72). Tunnusluvut (suluissa SE): Leikkauspiste 69,3 (11,9); 1. asteen termi 0,09 (0,046), p=0,06; 2. asteen termi 0,00009 (0,000043), p=0,05. Selitysaste 0,13.

## 5 TULOSTEN TARKASTELU

### 5.1 Väkirehuprosentti

#### 5.1.1 Väkirehuprosentin ja kuiva-aineen sulavuuden välinen yhteys

Hevosien luontainen ravinto ei sisällä tärkkelyspitoisia väkirehuja, mutta niitä käytetään energialähteenä dieetissä. Tässä tutkimuksessa väkirehun lisääminen dieettiin paransi kuiva-aineen sulavuutta, mikä johtui oletettavasti tehokkaasta ohutsuoლისulatuksesta. Väkirehun sisältämät solunsisällyshiilihydraatit sulavat tehokkaasti ohutsuolessa, jopa 100 % (Santos ym. 2011), mutta ruokasula jatkaa nopeasti kulkuaan paksu- ja umpisuolen mikrobifermentaatioon (van Weyenberg ym. 2006).

Miraglia ym. (2006) mittasivat väkirehuprosentin vaikutusta kaupallisella väkirehulla ja tuossa tutkimuksessa väkirehuprosentin positiivinen vaikutus

kuiva-aineen sulavuuteen jäi pienemmäksi kuin tässä analyysissä. Regressioyhtälön kulmakerroin oli 0,089 (Miraglia ym. 2006) verrattuna tähän tutkimukseen, jossa kulmakerroin oli 0,253. Erot voivat johtua väkirehujen eroista. Miraglian ym. (2006) tutkimuksessa oli käytössä väkirehu, joka sisälsi kuitupitoista hedelmäleikettä, maissia ja ohraa. Sshh-pitoisuus oli väkirehua sisältäneissä dieeteissä keskimäärin 291,5 g/kg ka. Vastaavasti meta-analyysiaineiston väkirehujen keskimääräinen sshh-pitoisuus oli 507 g/kg ka, eli potentiaalisesti ohutsuolessa hyvin sulavan aineksen osuus oli tässä aineistossa suurempi. Väkirehutyypin ja väkirehuprosentin yhdysvaikutuksia tarkasteltaessa havaittiin myös, että väkirehuprosentin vaikutus kuiva-aineen sulavuuteen oli tässä aineistossa pienin kuitupitoisilla väkirehuilla (tyyppi 1), kulmakertoimen ollessa 0,12, eli hyvin lähellä Miraglian ym. (2006) tulosta.

Joissain aiemmissa tutkimuksissa väkirehuprosentin ei ole todettu vaikuttavan kuiva-aineen sulavuuteen (Hintz ym. 1971, Holland ym. 1998, Coverdale ym. 2004 ja Peiretti ym. 2006), mikä on voinut johtua käytetyistä väkirehuista kuten Miraglian ym. (2006) tutkimuksessa. Yksittäisten tutkimusten kohdalla tulokset voivat johtua myös aineiston pienuudesta, jolloin sulavuusvaikutukset eivät tule tilastollisesti merkitseviksi. Hevosten väliset erot erityisesti kuidun sulatuksessa ovat suuria (Uden ja Van Soest 1982, Willing ym. 2009), mikä edelleen vaikeuttaa vaikutusten havaitsemista pienissä aineistoissa.

Väkirehuprosentin vaikutus kuiva-aineen sulavuuteen oli tässä aineistossa käyräviivainen ja suurilla väkirehuprosenteilla sulavuus ei enää parantunut. Tämä johtui todennäköisesti ohutsuolen sulatuskapasiteetin ylittymisestä, jolloin sulamattomia solunsisälyshiilihydraatteja, erityisesti tärkkelystä, etenee paksu- ja umpisuoleen ja heikentää siellä kuitua hyväksikäyttävien mikrobien toimintaa (Daly ym. 2012) ja sitä kautta soluseinämäaineksen sulatusta. Soluseinämäaineksesta 85-95% sulatetaan paksusuoleessa (Santos ym. 2011) ja

tämän sulatuksen häiriintyminen voi selittää kuiva-aineen sulavuuskäyrän muutokset väkirehuprosentin kasvaessa.

Käyräviivaisuutta voi selittää myös karkearehun positiivisten vaikutusten heikkeneminen väkirehuprosentin kasvaessa. Hill (2007) totesi, että karkearehu dieetissä voi hidastaa ruokasulan kulkua ja siten lisätä entsyymien vaikutusaikaa ohutsuolessa ja parantaa väkirehun tärkkelyksen sulavuutta. Paksusuoleen joutuvan tärkkelyksen väheneminen parantaa paksusuolen mikrobifermentaation stabiiliutta (Daly ym. 2012).

### 5.1.2 Yhdysvaikutukset

Väkirehuprosentin vaikutus sulavuuteen vaihteli väkirehutyypeittäin. Vaihtelua väkirehujen välillä selittää sekä väkirehun ohutsuolisulavuus että siihen liittyvä, paksusuoleen joutuvan solunsisällyksaineksen määrä. Hussein ym. (2004) eivät havainneet eroja sulavuusparametreissa tutkiessaan eri viljoja, minkä he olettivat johtuvan maltillisista tärkkelystasoista (max. 1,11 g/epkg/ruokintakerta). Tässä analyysissä tärkkelystaso vaihteli välillä 0 - 3,85 g/epkg/ruokintakerta. Osassa meta-analyysin tutkimuksia tärkkelystaso oli siis selvästi korkeampi kuin Husseinin ym. (2004) tutkimuksessa.

Yhdysvaikutuksia testataessa kuitupitoisia sekä runsaasti kauraa sisältäviä väkirehuja verrattiin väkirehuihin, jotka sisälsivät useimmiten ohraa ja maissia. Ohran ja maissin tärkkelyksen ohutsuolisulavuus on yleisesti heikompi kuin kauran (väkirehutyyppi 2) (de Fombelle ym. 2001, de Fombelle ym. 2004, Rosenfeld ja Austbo 2009). Ohraa ja maissia sisältävillä väkirehuilla kuiva-aineen sulavuus kuitenkin parani muita väkirehutyppejä enemmän kun väkirehutasoa nostettiin. Tämä viittaa siihen, että tyyppiin 3 sisällytettyjen väkirehujen ohutsuolisulavuus oli hyvä, esimerkiksi prosessoinnin seurauksena, ja näin fermentaatiota häiritsevää solunsisällyksainesta ei joudu paksusuoleen

merkittäviä määriä. Väkirehutyypin 3 sisälsi myös riisipohjaisia väkirehuja, mikä on voinut vaikuttaa tuloksiin, sillä riisin on todettu parantavan kuiva-aineen sulavuutta väkirehuna (De Marco ym. 2014).

Mekaanisen prosessoinnin ja lämpökäsittelyn kautta voidaan vaikuttaa huonosti sulavan tärkkelyn ohutsuolisulavuuteen (Kienzle ym. 2002, Rosenfeld ja Austbo 2009), mikä on havaittu edellisissä tutkimuksissa myös parantuneena kuiva-aineen sulavuutena (Peiretti ym. 2011). Yhtä alakoetta lukuunottamatta kaikki väkirehutyypin 3 (muut viljat) sisällytetyistä väkirehuista oli vähintään mekaanisesti prosessoitu. Toinen väkirehutyypin 3:n ohutsuolisulavuutta tukeva tekijä oli dieettien kohtuullinen tärkkelystaso, jolloin sulamatonta tärkkelystä ei joutunut merkittäviä määriä paksusuoleen. Paksusuolen mikrobitoimintaa ja karkearehun sulatusta paksusuoleessa voi tukea myös dieetin NDF-pitoisuuden lasku (Hansen ym. 2017), kun väkirehuprosentti nousee.

Kauralla (väkirehutyypin 2) väkirehuprosentin vaikutus kuiva-aineen sulavuuteen oli pienempi kuin muilla viljoilla (väkirehutyypin 3), mikä voi selittyä kauran muita viljoja suuremmalla NDF-pitoisuudella (Hansen ym. 2017). Kuidun sulavuuteen voivat vaikuttaa NDF-pitoisuuden lisäksi myös paksusuoleen joutuvan sulamattoman tärkkelyn vaikutukset sellulolyyttisiin mikrobeihin. Kauran tärkkelyn ohutsuolisulavuus on hyvä (de Fombelle ym. 2001, de Fombelle ym. 2004, Rosenfeld ja Austbo 2009), mutta prosessoimattomana kauran kuori voi vähentää solunsisällyksaineiden altistumista ohutsuolen entsyymitoiminnalle (Julliand ym. 2006) ja lisätä paksusuoleen joutuvan sulamattoman tärkkelyn määrää. Tämän meta-analyysin aineistossa kaura oli prosessoimatonta noin puolessa (47 %) alakokeista, joissa oli käytössä väkirehutyypin 2, joten tämän voi selittää osan kuidun sulavuuden heikkenemisestä. Myös Palmgren Karlsson ym. (2000) arvioivat kuidun sulavuuden heikkenemisen selittävän väkirehuprosentin ja orgaanisen aineen

sulavuuden yhteyttä tutkimuksessa, jossa väkirehuna käytettiin prosessoimatonta kauraa.

Kuitupitoisilla väkirehuilla (tyyppi 1), joihin kuuluivat luokittelussa mm. juurikasleike, erilaiset kuoriosat ja leseet sekä kuitupitoiset täydennyrehut, sulatus perustuu ohutsuolen lisäksi myös paksusuolen mikrobifermentaatioon (Lindgren ja Karlsson 2001). Tästä syystä väkirehuprosentin positiivinen vaikutus kuiva-aineen sulavuuteen oli väkirehutyypeistä pienin, koska ohutsuolen entsyymisulatuksesta ei ollut yhtä suurta hyötyä kuin muilla väkirehutyypeillä.

Kuitupitoisten väkirehujen osuuden lisääminen dieetissä paransi suuntaa antavasti kuidun sulavuutta, kuten myös Murray ym. (2008) totesivat. De Marco ym. 2012 oletivat NDF:n sulavuuden heikkenevän kuitupitoisia väkirehuja käytettäessä, mutta totesivat tämän arvioinnin olevan vaikeaa yhdysvaikutusten vuoksi. Hyvin sulavat kuidut voivat parantaa paksusuolen mikrobisulatusta tarjoamalla mikrobeille nopeasti hajoavaa soluseinämäaineista, jota esimerkiksi melassileikkeessä on jopa 47 % kuiva-aineesta (Murray ym. 2008). Erilaiset soluseinämäkuidut ja näiden väliset suhteet voivat osaltaan selittää myös kuitupitoisten väkirehujen positiivista yhdysvaikutusta kuidun sulavuuteen (Murray ym. 2008).

Korvattaessa tärkkelystä kuitupitoisilla rehuilla positiivinen vaikutus kuidun sulavuuteen voi johtua pienentyneestä sulamattoman tärkkelyksen määrästä. Toisaalta on todettu, että hyvin sulavat kuidut ovat hyvä energianlähde mikrobeille. Hyvin sulavien kuitujen lisääminen voi vähentää tärkkelyksen negatiivisia vaikutuksia paksusuolella (de Fombelle ym. 2003). Mikrobiston stabiilius voi myös parantaa kuidun sulavuutta (Lindberg ja Karlsson 2001). Kienzle ym. 2002 esittivät, että huonosti sulavan karkearehun sulavuutta voidaan tukea väkirehulla, jonka nopeasti fermentoituvat hiilihydraatit tukisivat mikrobiaktiivisuutta ja myös sellulolyyttisiä mikrobeja. Kuitupitoisten (tyyppi 1)

väkirehujen vaikutus kuidun sulavuuteen oli samansuuntainen, mutta kaksinkertainen verrattuna viljoihin (tyyppi 3). Väkirehujen vaikutusmekanismit ovat kuitenkin oletettavasti hyvin erilaiset.

Raakavalkuaisen sulavuutta voidaan selittää väkirehun raakavalkuaispitoisuudella, mikä on luontaisesti korkeampi viljoissa (tyypit 2 ja 3) kuin kuitupitoisissa rehuissa (tyyppi 1). Tässä aineistossa väkirehutyypin 2 väkirehut erottuivat valkuaispitoisuudellaan, sen ollessa keskimäärin 133 g/kg ka. Väkirehutyypien 1 (120 g/kg ka) ja 3 (123 g/kg ka) välillä ei ollut selvää eroa, mikä olisi selittänyt raakavalkuaisen sulavuutta. Valkuaisen imeytyminen paksusuolesta on kuitenkin heikkoa (Santos 2011), joten potentiaalisesti ohutsuolessa sulavan ja imeytyvän väkirehun valkuaisen lisääntyminen dieetissä parantaisi myös sulavuutta koko ruoansulatuskanavassa. Sulatuksen painottuminen paksusuoleen voi selittää väkirehutyypin 1 erottumista muista väkirehuista.

Poneilla kuiva-aineen sulavuuden lähtötaso (leikkauspiste) oli matalampi kuin hevosilla, kuten jo Pearson ym. (1992) havaitsivat. Väkirehuprosentti sen sijaan näytti tässä meta-analyysissä vaikuttavan kuiva-aineen sulavuuteen enemmän positiivisesti poneilla verrattuna hevosiin. Slade ja Hintz (1969) havaitsivat poneilla korkeampia orgaanisen aineen sulavuuksia hevosiin verrattuna. Poneilla, erityisesti alkuperäisrotuisilla, on yleisesti todettu kuidun sulavuuden olevan erityisen hyvä muihin rotuihin verrattuna (Pearson ym. 1992, Jensen ym. 2010), joten niillä voidaan olettaa olevan tehokas kuitua sulattava mikrobisto paksusuolella. Tehokkaan mikrobiston lisäksi myös paksusuolen suhteellinen tilavuus ja sitä kautta mikrobimassa voi olla suurempi alkuperäisroduilla, kuten Sverrisdóttir ym. 1994 totesivat islanninhevosilla. Väkirehuprosentin nousun positiivinen vaikutus poneilla voisi viitata tehokkaaseen ohutsuolisulatuksen, kuten esimerkiksi islanninhevosilla on tärkkelyksen osalta todettu (Jensen ym. 2010) paksusuolen tehokkaan mikrobisulatuksen lisäksi. Yhdysvaikutusmallin

mukaan väkirehuprocentin nousu paransi kuiva-aineen sulavuutta eniten poneilla, kun taas lämminveristen ja kylmäveristen tulokset olivat keskenään samankaltaisia. Ponien väkirehuruokinnassa tulisikin ottaa huomioon koko dieetin sulavuuden paraneminen positiivisten yhdysvaikutusten ansiosta. Ponien hevosta parempi rehunkäyttökyky voi johtaa esimerkiksi helpommin lihoamiseen väkirehutason noustessa.

## **5.2. Tärkkelys**

### **5.2.1. Dieetin ja väkirehun tärkkelyspitoisuuden vaikutukset**

Dieetin tärkkelyspitoisuuden ja kuiva-aineen sulavuuden käyräviivainen yhteys vahvistaa sitä oletusta, että hevosen tärkkelyksen entsyymaattinen sulatuskyky ohutsuolessa on rajallinen (Kienzle ym. 1994). Pienillä dieetin tärkkelyspitoisuuksilla sulavuus paranee, kun dieetin NDF-pitoisuus laskee ja suurempi osuus dieetistä tulee väkirehusta ja sulatetaan ohutsuolessa entsyymaattisesti. Väkirehuprocentin noustessa aineistossa samalla dieetin tärkkelyspitoisuuskin nousi, mistä johtui näiden hyvin samankaltainen vaikutus kuiva-aineen sulavuuteen. Ohutsuolen entsyymiaktiivisuuden rajallisuudesta johtuen sulavuus ei kuitenkaan kasvanut lineaarisesti, vaan tärkkelyksen ja väkirehun positiivinen vaikutus heikkeni. Väkirehun tärkkelyspitoisuuden osalta käyräviivaista yhteyttä ei havaittu, mikä viittaisi siihen, että väkirehuprocentti on merkittävä tekijä arvioitaessa väkirehujen tärkkelyksen vaikutusta kuiva-aineen sulavuuteen.

Väkirehuprocentin nousu selittää myös raakavalkuaisen parantunutta sulavuutta dieetin tärkkelyspitoisuuden kasvaessa. Raakavalkuaisen sulavuus on muihin sulavuusparametreihin verrattuna korkealla tasolla (yli 60%) jo lähtötasoltaan, ja tärkkelyksen positiivinen vaikutus on pientä. Todennäköisintä onkin, että väkirehun sisältämä hyvin sulava raakavalkuainen selittää sulavuuden

muutokset, eikä niin että tärkkelys vaikuttaisi valkuaisen sulatukseen ohutsuolessa. Tätä tukevat myös aiemmat tutkimukset, joissa väkirehun valkuaispitoisuuden nousun on todettu parantavan raakavalkuaisen sulavuutta (Särkijärvi ja Saastamoinen 2006). Toisaalta väkirehua sisältäneiden dieettien tärkkelyspitoisuuden ja raakavalkuaisen sulavuuden välillä ei ole havaittu yhteyttä (Hussein ym. 2004). Joany ym. (2009) arvioivat, että raakavalkuaisen sulavuuden paraneminen voi johtua siitä, että tärkkelys tukee paksusuolella amylolyyttisten bakteerien toimintaa, ja näistä useimmat ovat myös proteolyttisiä. Valkuaisen imeytyminen paksusuolesta on kuitenkin heikkoa (Santos 2011), joten tämän mekanismin vaikutuksen voidaan olettaa olevan vähäinen.

Dieetin tärkkelyspitoisuudella ei havaittu merkitsevää yhteyttä kuidun sulavuuteen. Joissain tutkimuksissa on kuitenkin todettu dieetin tärkkelyspitoisuuden nousun eli tärkkelyspitoisen väkirehun lisäämisen pienentävän ADF:n sulavuutta tilastollisesti merkitsevästi (Joany ym. (2009), Suomala (2016)). Väkihuprosentin nousu ja dieetin tärkkelyspitoisuuden kasvu pienentävät yleensä myös dieetin NDF-pitoisuutta, mikä voi parantaa NDF:n sulavuutta (Hansen ym. 2017).

Kuitufraktioiden sulavuuden ja väkirehun tärkkelyspitoisuuden välillä oli analyysissä käyräviivainen yhteys, jonka mukaan tärkkelyspitoisuuden kasvu heikensi kuidun sulavuutta, joka kuitenkin kääntyi uudelleen nousuun kun väkirehun tärkkelyspitoisuus kasvoi yli 500 g/kg ka. Tätä tulosta selittävät tutkimuksissa käytetyt eri väkirehutyypit. Suurimmat väkirehun tärkkelyspitoisuudet olivat analyysissä muilla viljoilla kuin kauralla. Näiden väkirehutyyppeä 3 olevien rehujen tärkkelyksen oletetaan olleen hyvin sulavaa prosessoinnista johtuen (Kienzle ym. 2002, Rosenfeld ja Austbo 2009), joten paksusuolen kuitua hajottavien mikrobien toiminta ei ole häiriintynyt näitä rehuja syötettäessä. Matalimmat tärkkelyspitoisuudet viittavat dieetteihin, joissa



tärkkelyspitoisia väkirehuja oli korvattu osittain kuitupitoisilla juuri kuidun sulavuuden ongelmien ehkäisemiseksi. Väkirehun tärkkelyspitoisuuden keskimääräinen taso viittasi sen sijaan kaurapohjaisiin väkirehuihin (tyyppi 2), joilla todettiin väkirehuprosentin nousun vaikuttavan negatiivisesti kuidun sulavuuteen.

On mahdollista, että väkirehun tärkkelyspitoisuus itsessään ei vaikuta kuidun sulavuuteen ainakaan tämän käyräviivaisen mallin mukaan (kuvat 4 ja 5), vaan väkirehujen väliset erot tärkkelyspitoisuudessa ja mahdollisesti myös tärkkelyksen laadussa selittävät havaittuja muutoksia kuidun sulavuudessa. Vaikutukset ADF:n osalta olivat selkeämmät kuin NDF:llä, eli erityisesti lähellä keskiarvoa (449 g/kg ka) olevilla tärkkelyspitoisuuksilla ADF:n sulavuus oli selvästi heikompaa kuin NDF:lla. Merkittäviä eroja tärkkelyspitoisten väkirehujen välillä voi selittää prosessoinnin (Santos ym. 2011) lisäksi mm. tärkkelysjuvästen rakenteiden erot esimerkiksi kauran ja ohran välillä (Kienzle ym. 1997).

### 5.2.2. Tärkkelyksen syönti elopainokiloa kohden

Tärkkelyksen syönnin (g/epkg/pv) vaikutukset kuiva-aineen ja raakavalkuaisen sulavuuteen noudattivat hyvin pitkälti tärkkelyspitoisuuden vaikutuksia ja johtuivat oletettavasti väkirehuprosentin noususta. Hieman lineaarista mallia paremmin kuiva-aineen sulavuutta selitti käyräviivainen malli, jossa tärkkelyksen ja väkirehuprosentin positiivinen vaikutus heikkeni selvästi kun syönti on yli 5 g/epkg/pv. Esimerkiksi kauraa käytettäessä päivän väkirehuannoksen maksimikoko olisi tämän perusteella 5,9 kg ka (kauran tärkkelyspitoisuus 42 %, LUKE 2018). Kuiva-aineen sulavuus heikkeni todennäköisesti siitä syystä, että sulamaton tärkkelys paksusuoleen joutuessaan heikentää kuidun sulavuutta, joka voi näkyä myös kuiva-aineen sulavuudessa (Varloud ym. 2004). Korkeilla tärkkelystasoilla havaintoja on aineistossa vähän, mikä voi vaikuttaa tuloksiin.

Sekä kuiva-aineen että NDF:n sulavuuden muutoksia voi selittää sulamattoman tärkkelyksen erilaisilla vaikutusmekanismeilla paksusuolessa. Pieni määrä sulamatonta tärkkelystä lisää amylolyyttisten mikrobien määrää ja suuntaa osan kuitua sulattamaan pystyvistä mikrobeista helpommin saatavilla olevan tärkkelyksen fermentaatioon (Dawson ym. 1997). Kun fermentaatio näiden mikrobien toimesta voimistuu, pH laskee, mikä jo itsessään vaikeuttaa kuitua sulattavien mikrobien toimintaa (Goodson ym. 1988, Julliand ym. 2017). De Fombellen (2003) mukaan hyvin sulavalla karkearehulla voitaisiin lisätä kuitua sulattavien mikrobien aktiivisuutta ja tämä voisi heikentää sulamattoman tärkkelyksen negatiivista vaikutusta paksusuolessa.

Yleisesti aineiston dieetit olivat tärkkelystasoiltaan kohtuullisia (keskiarvo 1,55 g/epkg/pv) ja korkeilla tärkkelystasoilla havaintojen määrä oli vähäinen. Tämä voi vaikuttaa siten, että yksittäisten havaintojen merkitys tuloksissa korostuu. Havaintojen painottuminen matalille tärkkelystasoille havaitaan käyräviivaisten mallien kuvaajista, kuten kuvassa 6.

### 5.2.3. Tärkkelystaso ruokintakertaa kohden

Dieetin tärkkelystaso-muuttuja ottaa huomioon hevosen elopainon ja tärkkelyksen määrän ruokintakertaa kohden. Vaikutukset kuiva-aineen sulavuuteen olivat hyvin samankaltaisia kuin dieetin tärkkelyspitoisuuden ja tärkkelyksen syönnin vaikutukset. Lineaarisen mallin mukaan 1 g nousu tärkkelystasossa nosti kuiva-aineen sulavuutta lähes 8 %. Käyräviivainen malli selitti kuitenkin parhaiten kuiva-aineen sulavuuden ja tärkkelystason yhteyttä. Tärkkelystaso, jolla kuiva-aineen sulavuus ei enää parantunut, oli noin 2,5 g/epkg/ruokintakerta, minkä voidaan olettaa johtuvan kuidun sulavuuden heikkenemisestä. Hevosen ominaisuudet, kuten koko, näyttivät vaikuttavan hevosen tärkkelyksen sietokykyyn eli siihen kuinka paljon paksusuolessa voi

joutua sulamatonta tärkkelystä ennen kuin kuidun sulavuus heikkeni. Tärkkelyksen sietokyky voi selittyä myös rotujen välisillä eroilla pureskelun perusteellisuudessa ja viipymääjassa (Jensen ym. 2010), mikä parantaa tärkkelyksen ohutsuolisulavuutta tai puhtaasti paksusuolen tilavuuden eroilla, jotka voivat vaikuttaa myös kuidun sulavuuteen (Sverrisdóttir ym. 1994). Yksilön tärkkelyksen sietokykyyn vaikuttavat ominaisuudet vaikuttavat käytännön ruokinnan onnistuneeseen toteuttamiseen.

Tärkkelyksen negatiivisia vaikutuksia on pyritty vähentämään jakamalla tärkkelysannosta useampiin ruokintakertoihin. Tärkkelyksen syönnin ja tärkkelystason tuloksia vertailtaessa on kuitenkin selvää, että myös tärkkelyksen kokonaissaannilla on merkitystä sulavuudelle ja sitä kautta hevosen terveydelle.

#### 5.2.4 Väki rehutyypien erot

Tärkkelystä sisältävillä väki rehutyypeillä 2 (kaura) ja 3 (muut viljat) havaittiin yhdysvaikutus, jonka mukaan kauralla tärkkelystason nousu heikensi kuidun sulavuutta enemmän kuin muilla viljoilla (tyyppi 3). Kuten aiemmin on todettu, tyyppien erot voivat selittyä prosessoinnilla. Erityisesti tutkimuksessa käytetyt muut viljat, kuten ohra ja maissi (tyyppi 3) olivat useimmiten prosessoituja tärkkelyksen huonon ohutsuolisulavuuden parantamiseksi (Kienzle ym. 1997), kun taas kauraa pääosin sisältäneistä väki rehuista oli prosessoimattomia lähes puolet (46,7 %). Toisaalta kokonaisena syötetyn kauran NDF-pitoisuus on muita viljoja suurempi (Luke 2018), mikä voi heikentää kuidun sulavuutta. Väki rehutyypien eroja voivat selittää myös dieetin muut pitoisuudet. Väki rehutyypin 2 kanssa käytettyjen karkearehujen keskimääräinen sshh-pitoisuus oli 211 g/kg ka, kun se väki rehutyypin 3 sisältäneissä dieeteissä oli 147 g/kg ka. Karkearehun sshh-pitoisuudella on potentiaalisesti vaikutusta kuidun sulavuuteen, sillä karkearehun sulatuksen painopiste on paksusuolella (Santos ym. 2011). Kauraa sisältäneiden dieettien karkearehun suurempi sshh-

pitoisuus saattoi siis osaltaan selittää kuidun heikompaa sulavuutta väkirehutyypin 3:een verrattuna.

Kaurapohjaisilla väkirehuilla (tyyppi 2) sekä NDF:n että ADF:n sulavuus heikkeni lineaarisesti 4 %-yksikköä kun tärkkelystaso nousi 1 g/epkg/ruokintakerta, mutta kuidun sulavuuden käyräviivaiset mallit erosivat toisistaan. Molempien käyräviivaisten mallien selitysasteet olivat erinomaiset, eli 0,99. Kuvista 8 ja 9 huomataan, että kuidun sulavuus heikentyi jo kun tärkkelystaso ylitti 0,5 g/epkg/ruokintakerta ja laski selvästi kun annoskoko ylitti 1 g/epkg/ruokintakerta. Kuidun sulavuuden kannalta 500 kg painavalla hevosella tämä tarkoittaisi turvallisen rajan olevan 600 - 1200 g kauraa kerta-annoksena. ADF:n osalta käyräviivaisuus korostui ja sulavuus laski hyvin alhaiseksi mallissa, kun lähestyttiin 2 g/epkg/ruokintakerta - tasoa. Tämä viittaa siihen, että heikommin sulavan kuitufraktion sulatus vaikeutuu, kun oletettavasti sulamatonta tärkkelystä joutuu paksusuoleen ja erityisesti sellulolyttisten mikrobien toiminta vaikeutuu (Harlow ym. 2016). Kokonaisena syötettävän kauran kohdalla pureskelu on tärkeässä osassa tärkkelyksen ohutsuolisulavuuden kannalta (Hill 2007, Jouany ym. 2009), minkä takia myös tärkkelyspitoisen väkirehun annoskoolla ja syöttötavalla (esimerkiksi karkearehun seassa) on merkitystä.

Muilla viljoilla kuin kauralla (väkirehutyypin 3) käyräviivaiset mallit osoittivat kuidun sulavuuden heikentyvän tärkkelyksen kerta-annoksen kasvaessa. NDF:n ja ADF:n välillä ei havaittu samankaltaista eroa kuin kauralla (tyyppi 2) ja myös negatiivinen vaikutus oli pienempi. Tämän voidaan olettaa johtuvan prosessoinnista, sillä kokonaisen ohran ja maissin tärkkelyksen ohutsuolisulavuus on huono, jopa vain 22-29 % (Kienzle ym. 1997).

Käyräviivaiset mallit kuitenkin osoittivat, että väkirehutyypillä 3 kuidun sulavuus alkoi heikentyä kun ruokintakertakohtainen tärkkelystaso ylitti 1 g/epkg ja lasku on selkeää kun tärkkelystaso oli yli 1,5 g/epkg/ruokintakerta. Suurilla

tärkkelystasoilla havaintojen määrä oli vähäinen, mikä voi korostaa yksittäisten tutkimusten tuloksia. Tämän aineiston perusteella prosessoitujen muiden viljojen (tyyppi 3) vaikutus hevosen paksusuolen mikrobeihin jäi vähäisemmäksi kuin kauralla (tyyppi 2), mikä oli eri viljojen tärkkelyksen ohutsuolisulavuuden tutkimustulosten valossa yllättävää. Sulamatonta tärkkelystä ei prosessoiduilla viljoilla joudu paksusuoleen yhtä helposti kuin prosessoimattomilla (Kienzle ym. 1997, Hill 2007, Rosenfeld ja Austbo 2009), joten myös vaikutukset mikrobeihin ja kuidun sulavuuteen ovat pienemmät. Ohran kuoren kuidut ovat myös heikosti sulavia, mikä olisi merkityksellistä kuidun sulavuudelle kokonaista viljaa syötettäessä (Drogoul ym. 2001). Myös kuoren kuitujen puuttuminen voi selittää eroja väkirehutyyprien välillä. Prosessointi tai prosessoimattomuus tulee siis ottaa huomioon tärkkelyksen turvallisia ruokintakertoja rajoja määritettäessä ja myös kuidun sulavuutta arvioitaessa.

Hevosen terveyden kannalta turvalliselle tärkkelystasolle per ruokintakerta on annettu useita eri rajoja. Eri tärkkelystasojen vertailun vuoksi laskennassa on käytetty tarvittaessa esimerkkinä 500 kg painavaa hevosta. Potterin ym. (1992) raja, 4 g/epkg/ruokintakerta on tähän aineistoon nähden suuri, sillä meta-analyysissä ei ollut yhtään tutkimusta, jossa tärkkelyspitoisuus annoksessa olisi ollut näin suuri. Käyräviivainen yhteys tärkkelystason ja kuidun sulavuuden välillä havaittiin kuitenkin myös Potterin ym. (1992) esittämää rajaa pienemmillä tärkkelystasoilla.

Mahahaavariskin kannalta turvallisena rajana on pidetty 1 g/epkg/ruokintakerta (Luthersson ym. 2009). Tähän samaan päätyivät Coenen ym. (2011), joka rajasi tärkkelyksen saantia 1,1 grammaan/epkg/ruokintakerta. Tällä saannilla hevosen glukoosiaineenvaihdunta ei oleellisesti muuttunut, eikä sulamatonta tärkkelystä joutunut paksusuoleen. Harlow ym. (2016) havaitsi, että 2 g/epkg/ruokintakerta on taso, jolla kaikilla viljoilla amylolyyttiset bakteerit lisääntyvät paksusuoleessa, mikä taas heikentää kuitua hajottavien mikrobien toimintaa (Daly ym. 2012).

Matalammalla tärkkelystasolla (1 g/epkg/ruokintakerta) vaikutukset paksusuolen mikrobeihin olivat pienemmät ja kauradieetillä vaikutusta ei havaittu ollenkaan (Harlow ym. 2016).

Myös tässä aineistossa viljojen välillä oli eroja, kaurapohjaisilla väkirehuilla kuidun sulavuus kääntyi selvästi laskuun kun tärkkelystaso ylitti 1 g/epkg/ruokintakerta, kun taas muilla viljoilla vastaava lasku tapahtui vasta tason 1,5 g/epkg/ruokintakerta ylittyessä. Väkirehutyypin tärkkelyksen lisäksi eroa voivat selittää käytettyjen karkearehujen erilaiset sshh-pitoisuudet. Harlowin ym. (2016) tutkimuksessa maissin ja vehnän vaikutukset suolistomikrobeihin havaittiin pienemmällä tärkkelystasolla kuin kauralla, mikä on päinvastainen tulos tähän meta-analyysiin verrattuna. Ero voi johtua tässä analyysissä ohraa sisältäneistä väkirehuista, jotka olivat samassa väkirehuluokassa kuin maissi. Turvallista tärkkelystasoa arvioitaessa tulee käytännössä ottaa huomioon sekä ruokintakertakohtainen että päiväkohtainen tärkkelyksen saanti. Tärkkelyksen syönnin vaikutusten perusteella päiväkohtainen tärkkelyksen turvallinen taso on noin kaksinkertainen ruokintakertakohtaiseen rajaan nähden, mikä on linjassa myös muiden tutkimusten kanssa (Luthersson ym. 2009, Daly ym. 2012).

### **5.3. Solunsisällyshiilihydraatit**

Dieetin sshh-pitoisuuden kasvu paransi kuiva-aineen ja raakavalkuaisen sulavuutta. Sssh-syönnin (g/epkg/pv) yhteys kuiva-aineen sulavuuteen oli käyräviivainen, eli positiivinen vaikutus heikkeni kun syönti kasvoi. Tämä voi viitata paksusuolen mikrobifermentaation häiriöihin, kuten tärkkelyksen kohdalla (Dawson ym. 2001). Toisaalta käyräviivaisen mallin mukaan suurilla sshh-tasoilla kuiva-aineen sulavuus oli korkea, lähes 70 %, verrattuna meta-analyysin aineiston keskiarvoon, joka oli 57,7 %. Selkeää negatiivista vaikutusta mallista ei välity. Sssh-syönnin kasvu viittaa myös sekä väkirehuprosentin nousuun että dieetin NDF-pitoisuuden pienenemiseen, mitkä voivat tukea

kuiva-aineen sulavuutta, vaikka kuidun sulavuus heikkenisikin käyräviivaisen mallin (kuva 16) mukaan.

Sekä dieetin sshh-pitoisuuden että sshh-syönnin yhteys NDF:n sulavuuteen oli käyräviivainen. Dieetin sshh- pitoisuuden ylittäessä 150 g/kg ka, kuidun sulavuuden heikko kasvu pysähtyi ja sulavuuskäyrä kääntyi laskuun. Sssh-syönnin ollessa 2 -4 g/epkg/pv NDF:n sulavuuskäyrä oli huipussaan ja kääntyi selkeään laskuun tuota suuremmilla päiväkohtaisilla saanneilla. Jos tämä syöntimäärä jaettaisiin kahdelle ruokintakerralle, olisi kuidun sulavuuden kannalta turvallinen sshh-annos 1-2 g/epkg/ruokintakerta, mikä vastaa tärkkelyksen saannille asetettuja rajoja suuruusluokaltaan.

Samankaltainen vaikutus kuidun sulavuuteen oli pelkällä karkearehun sshh-pitoisuudella, jonka käyräviivaisissa malleissa (kuvat 14 ja 15) nähdään pienillä pitoisuuksilla kuidun sulavuuden paranevan luultavasti rehun NDF:n osuuden pienentyessä sshh-pitoisuuden kasvaessa (Hansen ym. 2017). Sekä NDF:n että ADF:n sulavuus oli korkeimmillaan karkearehun sshh-pitoisuuden ollessa noin 125 g/kg ka, mutta laski sen jälkeen selvästi.

Sekä dieetin sshh-pitoisuuksien että sshh- syönnin vaikutus oli selkeämpi kuin tärkkelyksen, mikä voi johtua siitä, että sshh-fraktion sisältämä varastohiilihydraatti, fruktaani sulaa erityisen huonosti ohutsuolessa ja tulee paksusuolen mikrobien fermentoitavaksi lähes kokonaan (Harris ym. 2005). Karkearehun sulatuksen painopiste on soluseinämähiilihydraattien vuoksi paksusuolen mikrobifermentaatioissa (Santos ym. 2011), mikä voi selittää karkearehun ominaisuuksien merkittävää vaikutusta mikrobifermentaatioon. Kirjallisuudessa ei ole systemaattisesti annettu rajoja dieetin sshh-pitoisuudelle, etenkin aineenvaihdunnaltaan terveiden hevosten osalta. Metabolisista ongelmista kärsivien hevosten karkearehun suositellaan sisältävän solunsisällyshiilihydraatteja enintään 100 g/kg ka (Frank 2009). Voidaan

kuitenkin olettaa, että tässä aineistossa tutkimuksissa käytetyt hevoset olivat aineenvaihdunnaltaan terveitä tai ainakaan sairauksien vuoksi tutkimuksista poistettujen eläinten tuloksia ei ole mukana. Solunsisällyshiilihydraattien pitoisuuden vaikutukset voivat vaihdella myös roduittain, sillä yleisesti on todettu ponien olevan muita rotuja herkempiä insuliiniaineenvaihdunnan muutoksille ja metaboliselle oireyhtymälle (Frank 2009), mikä voisi myös liittyä solunsisällyshiilihydraattien ohutsuolisulavuuteen ja edelleen paksusuolen mikrobifermentaatioon. Rotutyypin ja sshh-pitoisuuden yhdysvaikutus ei ollut tässä meta-analyysissä tilastollisesti merkitsevä.

Analyysissä käytettyjen tutkimusten karkearehujen keskimääräinen sshh-pitoisuus oli 165 g/kg ka ja dieetin keskimääräinen pitoisuus 238 g/kg ka. Solunsisällyshiilihydraattien havaittiin vaikuttavan kuidun sulavuuteen jo selvästi näitä keskiarvoja pienemmillä pitoisuuksilla. Käytännön kannalta olisikin oleellista arvioida dieettiä kokonaisuutena, ei vain väkirehun tärkkelyksen tai karkearehun sshh-pitoisuuden perusteella. Terveiden hevosten suoliston kykyä ottaa vastaan solunsisällyshiilihydraatteja tulisikin tutkia enemmän koko dieetin näkökulmasta. LUKE:n (2018) rehutaulukoiden perusteella suomalainen, normaaliaikaan korjattu kuiva heinä sisältää solunsisällyshiilihydraatteja keskimäärin 125 g/kg ka. Tämä on sama taso, jonka jälkeen tässä analyysissä kuidun sulavuus alkoi heikkenemään. Myöhään korjatulla kuivalla heinällä sshh-pitoisuus voi olla 165 g/kg ka (LUKE 2018), jolloin kuidun sulavuus jo selvästi heikentyi mallin mukaan.

#### **5.4. NDF**

Karkearehun NDF-pitoisuuden kasvu laski dieetin kuiva-aineen sulavuutta, kuten myös Hansen ym. (2017) totesivat karkearehujen sulavuutta koskevassa meta-analyysissään. Tutkimusaineiston sisältäessä myös väkirehuja, dieetin NDF-pitoisuus oli kuitenkin selityksasteiden perusteella paremmin sulavuuden



muutoksia selittävä tekijä kuin pelkän karkearehun NDF-pitoisuus. Suuruusluokaltaan dieetin NDF-pitoisuuden ja Hansenin ym. (2017) määrittämä karkearehun NDF-pitoisuuden vaikutus kuiva-aineen sulavuuteen oli hyvin samankaltainen. Hansenin ym. (2017) regressiomallin leikkauspiste on 85,42. Korkeampaa leikkauspistettä tässä tutkimuksessa (89,5) voivat selittää hyvin sulavat väkirehut, joita on dieetissä oletettavasti paljon silloin kun NDF-pitoisuus on matala. Regressiomallien kulmakertoimet olivat kuitenkin hyvin lähellä toisiaan, Hansenin ym. (2017) mallissa 0,53 ja tässä tutkimuksessa 0,6. Tulosten samankaltaisuutta voi selittää se, että tässä meta-analyysissä oli mukana paljon tutkimuksia, joissa vertailudieettinä oli käytetty 100 % karkearehudieettiä.

Raakavalkuaisen sulavuuden heikkeneminen noudatti samankaltaista regressioyhtälöä, oli kyse sitten karkearehun tai koko dieetin NDF-pitoisuuden noususta. Myös Lindgren ja Karlsson (2001) havaitsivat raakavalkuaisen sulavuuden heikkenevän dieetin NDF-pitoisuuden kasvaessa. Heidän tutkimuksessaan kyse oli kuitenkin väkirehun vaihdosta tärkkelyspitoisesta kuitupitoiseen rehuun, minkä tutkijat olettivat lisänneen mikrobivalkuaisen synteesiä paksusuolessa ja sitä kautta heikentäneen valkuaisen näennäistä sulavuutta. Myös dieetin NDF-pitoisuuden nousun voidaan olettaa lisäävän mikrobivalkuaisen tuotantoa paksusuolessa ja sitä kautta erittymistä sontoan, mikä vaikuttaisi valkuaisen todellisen sulavuuden mittaamiseen, kuten Lindberg ja Karlsson (2001) olettivat. Tässä aineistossa pelkän väkirehun NDF-pitoisuuden ei todettu vaikuttavan kuiva-aineen eikä raakavalkuaisen sulavuuteen.

Kuitupitoisten väkirehujen vaikutuksista kuidun sulavuuteen on hyvin erilaisia tuloksia. Sekä Jensen ym. (2014) että Jouany ym. (2009) totesivat kuidun sulavuuden paranevan kuitupitoisilla väkirehuilla. Hussein ym. (2004) ei havainnut eroa tärkkelyspitoiseen väkirehuun verrattaessa ja De Marco (2012)

totesi kuitupitoisen väkirehun heikentävän kuidun sulavuutta. Väkirehun NDF-pitoisuuden ei todettu tässä analyysissä vaikuttavan NDF:n sulavuuteen.

Dieetin NDF-pitoisuuden ja NDF:n sulavuuden välistä heikohkoa käyräviivaista yhteyttä (kuva 18) voi selittää pienillä NDF-pitoisuuksilla korkea väkirehuprosentti, sillä karkearehun NDF-pitoisuus oli keskimäärin 604 g/kg ka tässä aineistossa. Väkirehun ominaisuudet, kuten paksusuoleen joutuva sulamaton tärkkelys, voivat heikentää kuidun sulavuutta. Suuremmilla dieetin NDF-pitoisuuksilla karkearehun osuus on suurempi ja voidaan olettaa mikrobisulatuksen kohdistuvan soluseinämäaineksen sulatukseen (Daly ym. 2012, Kristoffersen ym. 2016). Myös Pearson ym. (2006) havaitsivat NDF:n sulavuuden paranevan kun dieetin NDF-pitoisuus nousi. Tärkkelyspitoisen dieetin osan korvaaminen kuitupitoisella karkea- tai väkirehulla voi myös vaikuttaa paksusuolen VFA-tuotantoon, estää paksusuolen pH:n laskua ja näin edesauttaa kuitua sulattavien sellulolyttisten mikrobien toimintaa (Daly ym. 2012).

Sulavuusvaikutusten arvioinnin kannalta oleellista on huomioida yksittäisessä tutkimuksessa käytetyn vertailudieetin koostumus. Korvattaessa kuitupitoisilla väkirehuilla sellaisia dieettejä, joissa tärkkelystasot ovat matalia, positiivista vaikutusta kuidun sulavuuteen ei välttämättä havaita, kuten totesivat myös Hussein ym. (2004). Toisaalta taas pelkkää karkearehua sisältävän dieetin osittainen korvaaminen kuitupitoisella väkirehulla voi lisätä kuidun sulavuutta (Murray ym. 2008). Tässä meta-analyysissä havaittiin, että dieetin kuitupitoisuus selitti kuiva-aineen sulavuutta parhaiten. Tästä näkökulmasta tulisikin tarkastella dieettiä kokonaisuutena, sillä kuitupitoisen väkirehun vaikutus esimerkiksi kuiva-aineen sulavuuteen riippuu myös karkearehun NDF-pitoisuudesta.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tavoitteena oli arvioida dieetin väkirehutason ja tärkkelys- ja solunsisällyshiilihydraattien pitoisuuden ja annoksen vaikutuksia hevosen dieetin sulavuuteen. Dieetin väkirehun osuuden lisäämisen todettiin parantavan kuiva-aineen sulavuutta, mutta suurilla tasoilla tämä positiivinen vaikutus heikkeni kuidun sulavuuden heikentyessä. Väkirehujen tärkkelyksen päivä- ja kerta-annoksen kasvu heikensi kuidun sulavuutta. Tämä yhteys oli erityisen selkeä, kun väkirehuna käytettiin kauraa, josta lähes puolet oli prosessoimatonta. Kuidun sulavuuden heikkeneminen viittaa paksusuolen mikrobifermentaation muutoksiin ja suoliston pH:n laskuun. Tärkkelyksen rajoittaminen dieetissä on perusteltua terveyden lisäksi myös dieetin sulavuuden kannalta. Väkirehujen prosessointi voi kuitenkin vähentää tärkkelyksen negatiivisia vaikutuksia paksusuolen mikrobistoon ja kuidun sulavuuteen. Myös rotujen erot tulee ottaa huomioon ruokintaa suunniteltaessa. Erityisesti ponien muita hevosia parempi rehunkäyttökyky voi johtaa voimakkaalla väkirehuruokinnalla lihoamiseen koko dieetin sulavuuden parantuessa yhdysvaikutusten ansiosta.

Paksusuolen mikrobiston tehokkaan sulatuksen kannalta olisi tärkeää tarkastella tärkkelyksen saannin lisäksi myös koko dieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuutta. Solunsisällyshiilihydraattien syönnillä havaittiin samankaltainen yhteys kuidun sulavuuteen kuin tärkkelyksen syönnillä. Osa solunsisällyshiilihydraateista on peräisin karkearehusta, jonka sshh-pitoisuudet vaihtelevat paljon ja jota hevosen dieetti lähes poikkeuksetta sisältää. Urheiluhevosten dieetit sisältävät usein paljon väkirehujä ja tärkkelystä, mutta koko dieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden ja sulavuuden yhteys voi tulla merkittäväksi myös matalammilla tasoilla ruokittavien harrastehevosten dieeteissä. Aineenvaihdunnaltaan terveiden hevosten kykyä kestää solunsisällyshiilihydraatteja tulisi tutkia lisää.

## 7 KIITOKSET

Haluan kiittää työn pitkäjänteisestä ohjaamisesta yliopistonlehtori Tuomo Kokkosta Helsingin yliopistosta ja erityistutkija Markku Saastamoista Lukesta. Ilman kummankaan asiantuntemusta tätä työtä ei olisi syntynyt. Lisäksi haluan kiittää yliopistonlehtori Seija Jaakkolaa avusta ja tuesta erityisesti työn alkuvaiheessa. Tämä tutkielma oli ehdottomasti mieluisin, opettavaisin ja kiinnostavin työ koko omassa opintohistoriassani.

Gradun kirjoittaminen ruuhkavuosina ei ole se helpoin projekti. Erityiskiitokset kuuluvatkin siis omalle perheelleni, Antille ja tytöille, Fannille ja Tildalle, jotka jo ennen kouluikää ovat päässeet tutustumaan maisterintutkielman kirjoittamiseen arkeen. Sekä tietenkin hevosille, ja Hunsalan Ratsastajille, jotka eivät ole antaneet käytännön hukkua numeroiden sekaan.

## LÄHTEET

- Alipour, M.J., Jalanka, J., Pessa-Morikawa, T., Kokkonen, T., Satokari, R., Hynönen, U., Iivanainen, A. & Niku, M. 2018. The composition of the perinatal intestinal microbiota in cattle. *Scientific Reports* 8: 10437.
- Brøkner, C., Austbø, D., Næsset, J.A., Knudsen, K.E.B. & Tauson, A.-H. 2012. Equine pre-caecal and total tract digestibility of individual carbohydrate fractions and their effect on caecal pH response. *Archives of Animal Nutrition* 66: 490-506.
- Clauss, M., Schiele, K., Ortmann, S., Fritz, J., Codron, D., Hummel, J. & Kienzle, E. 2014. The effect of very low food intake on digestive physiology and forage digestibility in horses. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 98: 107-118.
- Clutter, S.H. & Rodiek, A.V. 1992. Feeding value of diets containing almond hulls. *Journal of Equine Veterinary Science* 12: 99-102.
- Coenen, M., Kienzle, E., Vervuert, I. & Zeyner, A. 2011. Recent German developments in the formulation of energy and nutrient requirements in horses and the resulting feeding recommendations. *Journal of Equine Veterinary Science* 31: 219-229.
- Costa, M.C., Stämpfli, H.R., Allen-Vercoe, E. & Weese, J.S. 2016. Development of the faecal microbiota in foals. *Equine Veterinary Journal* 48: 681-688.
- Coverdale, J.A., Moore, J.A., Tyler, H.D. & Miller-Auwerda, P.A. 2004. Soybean hulls as an alternative feed for horses. *Journal of Animal Science* 82: 1663-1668.
- Daly, K., Proudman, C.J., Duncan, S.H., Flint, H.J., Dyer, J. & Shirazi-Beechey, S.P. 2012. Alterations in microbiota and fermentation products in equine large intestine in response to dietary variation and intestinal disease. *The British journal of nutrition* 107: 989-995.

- Dansen, O., Pellikaan, W.F., Hendriks, W.H., Dijkstra, J., Jacobs, M.P.T., Everts, H. & Van Doorn, D.A. 2015. Daily methane production pattern of Welsh ponies fed a roughage diet with or without a cereal mixture. *Journal of Animal Science* 93: 1916-1922.
- Dawson, K.A., Rasmussen, M.A. & Allison, M.J. 1997. Digestive disorders and nutritional toxicity. The rumen microbial ecosystem. 2. painos. London: Blackie Academic & Professional. s. 633-653.
- De Fombelle, A., Julliand, V., Drogoul, C. & Jacotot, E. 2001. Feeding and microbial disorders in horses: 1-effects of an abrupt incorporation of two levels of barley in a hay diet on microbial profile and activities. *Journal of Equine Veterinary Science* 21: 439-445.
- De Fombelle, A., Varloud, M., Goachet, A.-G., Jacotot, E., Philippeau, C., Drogoul, C. & Julliand, V. 2003. Characterization of the microbial and biochemical profile of the different segments of the digestive tract in horses given two distinct diets. *Animal Science* 77: 293-304.
- De Fombelle, A., Veiga, L., Drogoul, C. & Julliand, V. 2004. Effect of diet composition and feeding pattern on the prececal digestibility of starches from diverse botanical origins measured with the mobile nylon bag technique in horses. *Journal of Animal Science* 82: 3625-3634.
- De Marco, M., Miraglia, N., Peiretti, P.G. & Bergero, D. 2012. Apparent digestibility of wheat bran and extruded flax in horses determined from the total collection of feces and acid-insoluble ash as an internal marker. *Animal* 6: 227-231.
- De Marco, M., Peiretti, P.G., Miraglia, N. & Bergero, D. 2014. Apparent digestibility of broken rice in horses using in vivo and in vitro methods. *Animal* 8: 245-249.
- Dougal, K., De La Fuente, G., Harris, P.A., Girdwood, S.E., Pinloche, E., Geor, R.J., Nielsen, B.D., Schott II, H.C., Elzinga, S. & Jamie Newbold, C. 2014. Characterisation of the faecal bacterial community in adult and

elderly horses fed a high fibre, high oil or high starch diet using 454 pyrosequencing. PLoS ONE 9: e87424.

- Drogoul, C., De Fombelle, A. & Julliand, V. 2001. Feeding and microbial disorders in horses: 2: Effect of three hay:grain ratios on digesta passage rate and digestibility in ponies. *Journal of Equine Veterinary Science* 21: 487-491.
- Drogoul, C., Poncet, C. & Tisserand, J.L. 2000. Feeding ground and pelleted hay rather than chopped hay to ponies 1. Consequences for in vivo digestibility and rate of passage of digesta. *Animal Feed Science and Technology* 87: 117-130.
- Frank, N. 2009. Equine metabolic syndrome. *Journal of Equine Veterinary Science* 29: 259-267.
- Frape, D. 2010. Equine nutrition and feeding. 4. painos. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd. 498 s.
- Freire, R., Clegg, H.A., Buckley, P., Friend, M.A. & McGreevy, P.D. 2009. The effects of two different amounts of dietary grain on the digestibility of the diet and behaviour of intensively managed horses. *Applied Animal Behaviour Science* 117: 69-73.
- Geor, R.J. 2009. Pasture-associated laminitis. *Veterinary Clinics of North America - Equine Practice* 25: 39-50.
- Goodson, J., Tyznik, W.J., Cline, J.H. & Dehority, B.A. 1988. Effect of an abrupt diet change from hay to concentrate on microbial numbers and physical environment in the cecum of the pony. *Applied and Environmental Microbiology* 54: 1946-1950.
- Hansen, T.L. & Lawrence, L.M. 2017. Composition factors predicting forage digestibility by horses. *Journal of Equine Veterinary Science* 58: 97-102.
- Harlow, B.E., Lawrence, L.M., Hayes, S.H., Crum, A. & Flythe, M.D. 2016. Effect of dietary starch source and concentration on equine fecal microbiota. *PLoS ONE* 11 (4): e0154037.

- Harris, P.A. 2005. Influence of feeds and feeding on incidence of laminitis. *Pferdeheilkunde* 21: 64-65.
- Hill, J. 2007. Impacts of nutritional technology on feeds offered to horses: A review of effects of processing on voluntary intake, digesta characteristics and feed utilisation. *Animal Feed Science and Technology* 138: 92-117.
- Hintz, H.F., Argenzio, R.A. & Schryver, H.F. 1971. Digestion coefficients, blood glucose levels and molar percentage of volatile acids in intestinal fluid of ponies fed varying forage-grain ratios. *Journal of Animal Science* 33: 992-995.
- Holland, J.L., Kronfeld, D.S., Sklan, D. & Harris, P.A. 1998. Calculation of fecal kinetics in horses fed hay or hay and concentrate. *Journal of Animal Science* 76: 1937-1944.
- Hussein, H.S., Vogedes, L.A., Fernandez, G.C.J. & Frankeny, R.L. 2004. Effects of cereal grain supplementation on apparent digestibility of nutrients and concentrations of fermentation end-products in the feces and serum of horses consuming alfalfa cubes. *Journal of Animal Science* 82: 1986-1996.
- INRA 2018. The INRA-CIRAD-AFZ tables, Institut national de la recherche agronomique. Saatavilla: <https://feedtables.com>. Viitattu 23.1.2018.
- Jensen, R.B., Austbø, D., Bach Knudsen, K.E. & Tauson, A.-H. 2014. The effect of dietary carbohydrate composition on apparent total tract digestibility, feed mean retention time, nitrogen and water balance in horses. *Animal* 8: 1788-1796.
- Jensen, R.B., Brøkner, C., Bach Knudsen, K.B. & Tauson, A.H. 2010. A comparative study of the apparent total tract digestibility of fibre in Icelandic and Danish Warmblood horses. *EAAP Scientific Series* 128: 207-209.
- Jouany, J.-P., Gobert, J., Medina, B., Bertin, G. & Julliand, V. 2008. Effect of live yeast culture supplementation on apparent digestibility and rate of



- passage in horses fed a high-fiber or high-starch diet. *Journal of Animal Science* 86: 339-347.
- Julliand, V. 1992. Microbiology of the Equine Hindgut. *Pferdeheilkunde* 3: 42-48.
- Julliand, V., De Fombelle, A. & Varloud, M. 2006. Starch digestion in horses: The impact of feed processing. *Livestock Science* 100: 44-52.
- Julliand, V. & Grimm, P. 2016. Horse species symposium: The microbiome of the horse hindgut: History and current knowledge. *Journal of Animal Science* 94: 2262-2274.
- Julliand, V. & Grimm, P. 2017. The impact of diet on the hindgut microbiome. *Journal of Equine Veterinary Science* 52: 23-28.
- Kerrou, M., Raskin, P., Minet, V., Mayombo, A.P. & Istasse, L. 1997. Different grass silage and cereals proportions in exercised horses. 48th Annual Meeting of the European Association for Animal Production (Vienna, Austria, August 25-28 1997).
- Kienzle, E., Fehrle, S. & Opitz, B. 2002. Interactions between the apparent energy and nutrient digestibilities of a concentrate mixture and roughages in horses. *Journal of Nutrition* 132: 1778S-1780S.
- Kienzle, E., Pohlenz, J. & Radicke, S. 1997. Morphology of starch digestion in the horse. *Journal of Veterinary Medicine Series A: Physiology Pathology Clinical Medicine* 44: 207-221.
- Kienzle, E., Radicke, S., Landes, E., Kleffken, D., Illenseer, M. & Meyer, H. 1994. Activity of amylase in the gastrointestinal tract of the horse. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 72: 234-241.
- Kristoffersen, C., Jensen, R.B., Avershina, E., Austbø, D., Tauson, A.-H. & Rudi, K. 2016. Diet-dependent modular dynamic interactions of the equine cecal microbiota. *Microbes and Environments* 31: 378-386.
- Lindberg, J.E. & Karlsson, C.P. 2001. Effect of partial replacement of oats with sugar beet pulp and maize oil on nutrient utilisation in horses. *Equine Veterinary Journal* 33: 585-590.

- Longland, A.C. & Byrd, B.M. 2006. Pasture nonstructural carbohydrates and equine laminitis. *Journal of Nutrition* 136: 2099S-2102S.
- Luke 2018. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset. Luonnonvarakeskus.  
 Saatavissa: <http://www.luke.fi/rehutaulukot>. Viitattu 23.1.2018.
- Luthersson, N., Hou Nielsen, K., Harris, P. & Parkin, T.D.H. 2009. Risk factors associated with equine gastric ulceration syndrome (EGUS) in 201 horses in Denmark. *Equine Veterinary Journal* 41: 625-630.
- Martin-Rosset, W., Doreau, M., Boulot, S. & Miraglia, N. 1990. Influence of level of feeding and physiological state on diet digestibility in light and heavy breed horses. *Livestock Production Science* 25: 257-264.
- Martin-Rosset, W. & Dulphy, J.P. 1987. Digestibility interactions between forages and concentrates in horses: Influence of feeding level - comparison with sheep. *Livestock Production Science* 17: 263-276.
- Miraglia, N., Bergero, D., Polidori, M., Peiretti, P.G. & Ladetto, G. 2006. The effects of a new fibre-rich concentrate on the digestibility of horse rations. *Livestock Science* 100: 10-13.
- Miraglia, N., Poncet, C., & Martin-Rosset, W. 1992. Effect of feeding level, physiological state and breed on the rate of passage of particulate matter through the gastrointestinal tract of the horse. *Annales de Zootechnie* 41: 69.
- Murray, J.-A.M.D., Longland, A., Hastie, P.M., Moore-Colyer, M. & Dunnett, C. 2008. The nutritive value of sugar beet pulp-substituted lucerne for equids. *Animal Feed Science and Technology* 140: 110-124.
- NRC 2007. Nutrient requirements of horses. National Research Council. 6. painos. Washington, D.C., US: The National Academies Press. 341 s.
- Pagan, J.D., Harris, P., Brewster-Barnes, T., Duren, S.E. & Jackson, S.G. 1998. Exercise affects digestibility and rate of passage of all-forage and mixed diets in thoroughbred horses. *Journal of Nutrition* 128: 2704S-2707S.

- Palmgren Karlsson, C., Lindberg, J.E. & Rundgren, M. 2000. Associative effects on total tract digestibility in horses fed different ratios of grass hay and whole oats. *Livestock Production Science* 65: 143-153.
- Pearson, R.A., Cuddeford, D., Archibald, R.F. & Muirhead, R.H. 1992. Digestibility of diets containing different proportions of alfalfa and oat straw in thoroughbreds, shetland ponies, highland ponies and donkeys. *Pferdeheilkunde* 3: 153-157.
- Pearson, R.A., Archibald, R.F. & Muirhead, R.H. 2006. A comparison of the effect of forage type and level of feeding on the digestibility and gastrointestinal mean retention time of dry forages given to cattle, sheep, ponies and donkeys. *British Journal of Nutrition* 95: 88-98.
- Peiretti, P.G., Miraglia, N. & Bergero, D. 2011. Effects of oat or corn on the horse rations digestibility. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 9 (2): 268-270.
- Peiretti, P.G., Meineri, G., Miraglia, N., Mucciarelli, M. & Bergero, D. 2006. Intake and apparent digestibility of hay or hay plus concentrate diets determined in horses by the total collection of feces and n-alkanes as internal markers. *Livestock Science* 100: 189-194.
- Potter, G.D., Arnold, F.F., Householder, D.D., Hansen, D.H. & Brown, K.M. 1992. Digestion of starch in the small or large intestine of the equine. *Pferdeheilkunde* 3:107-111.
- Pyles, M.B., Fowler, A.L., Bill, V.T., Crum, A.D., Hayes, S.H., Harlow, B.E., Flythe, M.D. & Lawrence, L.M. 2019. Effect of starch source in pelleted concentrates on fecal bacteria in prepartum and postpartum mares. *Journal of Equine Veterinary Science* 72: 31-36.
- Ragnarsson, S. & Jansson, A. 2011. Comparison of grass haylage digestibility and metabolic plasma profile in Icelandic and Standardbred horses. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 95: 273-279.

- Rosenfeld, I. & Austbø, D. 2009. Effect of type of grain and feed processing on gastrointestinal retention times in horses. *Journal of Animal Science* 87: 3991-3996.
- Rosenfeld, I. & Austbø, D. 2009. Digestion of cereals in the equine gastrointestinal tract measured by the mobile bag technique on caecally cannulated horses. *Animal Feed Science and Technology* 150: 249-258.
- Sales, J. & Homolka, P. 2011. A meta-analysis of the effects of supplemental dietary fat on protein and fibre digestibility in the horse. *Livestock Science* 136: 55-63.
- Santos, A.S., Rodrigues, M.A.M., Bessa, R.J.B., Ferreira, L.M. & Martin-Rosset, W. 2011. Understanding the equine cecum-colon ecosystem: Current knowledge and future perspectives. *Animal* 5: 48-56.
- Schaafstra, F.J.W.C., Van Doorn, D.A., Schonewille, J.T., Roelfsema, E., Westermann, C.M., Dansen, O., Jacobs, M., Lee, J.-Y., Spronck, E.A., Blok, M.C. & Hendriks, W.H. 2018. Effect of exercise on apparent total tract digestibility of nutrients and faecal recovery of ADL and TiO<sub>2</sub> in ponies. *Animal* 12: 2505-2510.
- Shepherd, M.L., Pleasant, R.S., Crisman, M.V., Werre, S.R., Milton, S.C. & Swecker, W.S. 2012. Effects of high and moderate non-structural carbohydrate hay on insulin, glucose, triglyceride, and leptin concentrations in overweight Arabian geldings. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 96: 428-435.
- Slade, L.M. & Hintz, H.F. 1969. Comparison of digestion in horses, ponies, rabbits and guinea pigs. *Journal of Animal Science* 28: 842-843.
- St-Pierre, N.R. 2001. Invited review. Integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology. *Journal of Dairy Science* 84: 741-755.
- St-Pierre, N.R. 2007. Meta-analyses of experimental data in the animal sciences. *Revista Brasileira de Zootecnia* 36: 343-358.

- Suomala, H. 2016. Hevosten ruokinnassa tehtävien rehuvalintojen vaikutus valkuaisen hyväksikäyttöön sekä typestä aiheutuvaan ympäristökuormitukseen. Maisterintutkielma. Helsingin yliopisto, maataloustieteen laitos. 49s.
- Sverrisdottir, K., Sveinsson, I. & Gudmundsson, G. 1994. The digestive tract of the Icelandic horse. *Livestock Production Science* 40: 80-81.
- Särkijärvi, S. & Saastamoinen, M. 2006. Feeding value of various processed oat grains in equine diets. *Livestock Science* 100: 3-9.
- Udén, P. & Van Soest, P.J. 1982. Comparative digestion of timothy (*Phleum pratense*) fibre by ruminants, equines and rabbits. *British Journal of Nutrition* 47: 267-272.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B. & Lewis, B.A. 1991. Symposium: Carbohydrate methodology, metabolism and nutritional implications in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 74: 3583-3597.
- Van Weyenberg, S., Sales, J. & Janssens, G.P.J. 2006. Passage rate of digesta through the equine gastrointestinal tract: A review. *Livestock Science* 99: 3-12.
- Varloud, M., De Fombelle, A., Goachet, A.G., Drogoul, C. & Julliand, V. 2004. Partial and total apparent digestibility of dietary carbohydrates in horses as affected by the diet. *Animal Science* 79: 61-72.
- Venable, E.B., Fenton, K.A., Braner, V.M., Reddington, C.E., Halpin, M.J., Heitz, S.A., Francis, J.M., Gulson, N.A., Goyer, C.L., Bland, S.D., Cross, T.-W.L., Holscher, H.D. & Swanson, K.S. 2017. Effects of feeding management on the equine cecal microbiota. *Journal of Equine Veterinary Science* 49: 113-121.
- Vermorel, M., Vernet, J. & Martin-Rosset, W. 1997. Digestive and energy utilisation of two diets by ponies and horses. *Livestock Production Science* 51: 13-19.

Vermorel, M. & Martin-Rosset, W. 1997. Concepts, scientific bases, structure and validation of the French horse net energy system (UFC). *Livestock Production Science* 47: 261-275.

Vermorel, M., Martin-Rosset, W. & Vernet, J. 1997. Energy utilization of twelve forages or mixed diets for maintenance by sport horses. *Livestock Production Science* 47: 157-167.

Willing, B., Vörös, A., Roos, S., Jones, C., Jansson, A. & Lindberg, J.E. 2009. Changes in faecal bacteria associated with concentrate and forage-only diets fed to horses in training. *Equine Veterinary Journal* 41: 908-914.